

Sami Sivonen

Eurokoodien mukainen nostolenkkien valintataulukko betonielementeille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

25.4.2014

| | |
|--|---|
| Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika | Sami Sivonen Eurokoodien mukainen nostolenkkien valintataulukko betonielementeille 44 sivua + 4 liitettä 25.4.2014 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Rakennustekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | Rakennetekniikka |
| Ohjaaja(t) | Laboratorioinsinööri Matti Leppä Diplomi-insinööri Seppo Heikkinen |
| <p>Tämän insinööri työn aiheena oli tutkia eurokoodien mukana tuomia muuttuneita määräyksiä ja laskentakaavoja betonielementtien nosto-osien suunnittelussa. Työssä tutkittiin vanhojen Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) mukaisia käytäntöjä ja määräyksiä ja vertailtiin niitä uusien EN-standardien mukaisiin laskelmiin.</p> <p>Työssä käsitellään vain jännepunosnostolenkit ja pyöröteräsnostolenkit kaksipistenostoissa. Työ tehtiin SRT-Uusimaa Oy:lle ja työn tavoitteena oli luoda Excel-laskentapohja rakennesuunnittelijoiden avuksi nostolenkkien mitoittamiseen. Taulukoissa muuttujina toimivat betonielementin paino, betonin nostohetken lujuus ja nostokulma/haarakulma, joiden avulla käyttäjä voi valita tilanteeseen sopivan nosto-osan. Työssä oli myös tarkoituksena saada taulukoihin todellisten kuormien vaatimat ankkurointipituudet, toisin kuin olemassa olevissa taulukoissa, joissa ankkurointi pituudet ovat laskettu nostolenkin täydelle kapasiteetille. Tavoitteena oli minimoida elementtitehtaiden materiaali menekkiä nostolenkeissä sekä saada nostolenkit paremmin mahtumaan ahtaisiin tiloihin elementeissä (esim. ikkunoiden ja ovien ylityskohdat).</p> <p>Työn tuloksena havaittiin, että laskenta on muuttunut eurokoodien myötä huomattavasti ja että eurokoodit eivät suoraan anna mitoitusmääräyksiä nostolenkkien mitoittamiseen vaan laskentakaavoja on sovellettava muiden rakenneosien määräyksistä. Lisäksi löydetty laskentakaavat olivat voimassa, kun teräs mitoitetiin teräksen täydelle jännitykselle joten niiden soveltuvuudesta mitoittaessa todellisille voimille ei voida olla varmoja ilman vetokokeita.</p> | |
| Avainsanat | Nostolenkki, Jännepunos, Pyöröteräs, Tartuntapituus |

| | |
|---|--|
| Author(s) Title Number of Pages Date | Sami Sivonen Chart for choosing insert for precast concrete elements according to eurocodes 44 pages + 4 appendices 25 April 2014 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Civil Engineering |
| Specialisation option | Structural Engineering |
| Instructor(s) | Seppo Heikkinen, Master of Science Matti Leppä, Laboratory Engineer |
| <p>This thesis studies the changes that eurocodes brings to regulations and calculation formulas related to planning inserts for lifting precast concrete elements. The old Finnish collection of building regulations (RakMK) were studied and compared with new calculations based on EN-standards.</p> <p>This thesis covers only strand lifting loops and round bar lifting loops in two-point-lifting situations. The thesis was commissioned by SRT-Uusimaa Oy and the aim was to create an Excel spreadsheet to assist structural engineers in designing lifting loops. Variables used in the spreadsheet are weight of the precast concrete element, strength of concrete at the moment of lifting, and lifting angle/branch angle. These variables were included to allow the user to choose the best inserts. I wanted to include the actual loads required for the anchoring in the spreadsheet because in existing spreadsheets the anchorage lengths are calculated for the full capacity of the lifting loops. The overall aim is to minimize material consumption related to lifting loops in the element factories and to get lifting loops to fit better in tight spaces in precast concrete elements (eg, over the windows and doors).</p> <p>A main finding is that the calculation has changed significantly with the eurocodes, and that the eurocodes do not directly provide the rules for deciding the correct size of lifting inserts. Rather the calculation formulas have to be delivered from regulations concerning other structures. In addition, the calculations were valid when the steel was based on its full capacity but their applicability to situations in which actual are in place cannot be trusted without testing.</p> | |
| Keywords | Lifting loop, Prestressing strand, Round bar, Anchorage length |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Tausta | 1 |
| 1.2 | Tavoite | 1 |
| 2 | Normien ja standardien muutos eurokoodien myötä | 2 |
| 2.1 | Varmuus ja kuormitukset | 2 |
| 2.2 | Materiaalit | 5 |
| 3 | Laskenta | 8 |
| 3.1 | Haara- ja nostokulma | 8 |
| 3.2 | Imuvoima | 12 |
| 4 | Laskelmien rajoitukset | 14 |
| 4.1 | Yleistä | 14 |
| 4.2 | Betonin paksuus | 14 |
| 4.3 | Betonin lujuus nostohetkellä | 14 |
| 5 | Jännepunosnostolenkit | 15 |
| 5.1 | Yleistä | 15 |
| 5.1.1 | Jännepunoksien asennus | 16 |
| 5.1.2 | Nostot ja nostoapulaitteet | 19 |
| 5.2 | RakMK:n mukainen mitoitus | 20 |
| 5.3 | Eurokoodien mukainen mitoitus | 21 |
| 6 | Pyöröteräsnostolenkit | 27 |
| 6.1 | Yleistä | 27 |
| 6.2 | RakMK:n mukainen mitoitus | 29 |
| 6.3 | Eurokoodien mukainen mitoitus | 30 |
| 6.3.1 | Betonin murtuminen ohuissa levyissä | 35 |
| 6.3.2 | Ruostumattomien lenkkien käyttö | 40 |
| 7 | Ohjeistus taulukoiden käyttöön | 41 |
| 8 | Johtopäätökset | 42 |

| | | |
|---|--|----|
| 9 | Yhteenveto | 43 |
| | Lähteet | 44 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Jännepunoslenkin laskentaesimerkki | |
| | Liite 2. Pyöröteräsnostolenkin laskentaesimerkki (CEB-FIB Model Code 2010) | |
| | Liite 3. Jännepunoslenkkien tartuntapituus taulukko | |
| | Liite 4. Pyöröteräslenkkien tartuntapituus taulukko | |

Lyhenteet

| | |
|------------|---|
| Adheesio | Kahden eri aineen välinen vetovoima. |
| Eurokoodi | Kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. |
| Pyöröteräs | Sileäpintainen terästanko. |
| RakMK | Suomen rakentamismääräyskokoelma, rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet. |

1 Johdanto

1.1 Tausta

Eurokoodien käyttöönotto alkoi 2007 ja heinäkuusta 2013 lähtien rakenteet piti suunnitella EN-standardien mukaisesti. Muutos on tuonut tarpeen saada eurokoodien mukaiset suunnitteluohjeet betonielementtien nostolenkkien ankkurointipituuksiin elementtisuunnittelijoiden ja elementtitehtaiden käyttöön. Aiheesta on tehty ohjeita, mutta niissä ankkurointipituudet mitoitetaan teräksen murtokuormalle, eikä todellisille voimille. Uusiin määräyksien mukaan suunnitelluissa nosto-osissa ankkurointipituuksia saadaan vähennettyä ja siten nostolenkit saadaan mahtumaan paremmin betonielementteihin ja myös materiaalia käytetään vähemmän. Eurokoodien yhtenä positiivisena puolena on, että jatkossa suunnittelija voi jatkossa suunnitella rakenteita myös muissa maissa joissa eurokoodit ovat käytössä (huomioiden kuitenkin jokaisen maan kansalliset liitteet). Tämä opinnäyte työ tehdään rakennesuunnittelutoimisto SRT-Uusimaa Oy:lle.

1.2 Tavoite

Tämän työn tavoitteena on tutkia muuttuneita määräyksiä nostolenkkien suunnittelussa ja luoda tutkittujen tulosten avulla Excel-laskentapohjat nostolenkkien kaksipistenostoihin eri nostotilanteissa. Taulukoitavina nostolenkkeinä käytetään jännepunoslenkkejä ja pyöröteräslenkkejä (ruostuva- ja ruostumatonteräs). Taulukoista selviää, millaisia nostolenkkejä käytetään, nostolenkkien koko ja määrä sekä ankkurointipituudet, kun tiedossa on haarakulma, nosto-osien taivutuskulma, betoninlujuus nostohetkellä, elementin paino ja tyyppi. Toisin kuin olemassa olevissa tartuntapituustaulukoissa, tässä työssä halutaan saada nosto-osien todelliset tartuntapituudet niiden todellisille voimille, eikä tartuntapituutta, kun nosto-osa mitoitetaan murtokuormalle.

Työssä on myös mukana laskentaesimerkkejä eurokoodien mukaisesta nostolenkkien mitoituksesta, joiden perusteella liitteenä olevat tartuntapituustaulukot on luotu.

2 Normien ja standardien muutos eurokoodien myötä

Suomessa on ollut mahdollista suunnitella rakenteita EN-standardien mukaan vuodesta 2007 asti ja aina 1.7.2013 asti rakenteiden suunnittelu oli mahdollista rinnakkain Suomen Rakennusmääräyskokoelman ja EN-standardien kanssa. Tämä muutos on tuonut omat ongelmansa myös betonielementtien suunnitteluun, sillä EN-standardeissa ei oteta erikseen kantaa betonielementtien nostolenkkien suunnitteluun, kuten RakMk:n osa B4: Betonirakenteiden ohjeet antoivat suunnittelijalle nostolenkkien mitoitusohjeita.

2.1 Varmuus ja kuormitukset

Vanhan normiston (Suomen rakennusmääräyskokoelma osa B3) mukaan betonielementtien nostoissa tuli olla 4-kertainen varmuus, joka huomio nostolenkkeihin vaikuttavan kuorman ja käytettävien materiaalien murtokapasiteettien hajonnan ja lisäksi se huomioi kuormituksen dynaamisen lisän mitoituksessa. Elementin oma paino siis kerrottiin varmuuskertoimella 4 [4.; 5.].

Eurokoodien mukaisessa nostolenkkien mitoituksessa RakMK:n mukainen 4-kertainen varmuus on korvattu nosto-osien osavarmuusmenettelyä noudattavalla mitoituksella, joka perustuu SFS-EN1992-1-1 standardiin ja tekniseen raporttiin CEN/TR 15728. Noston aikainen mitoituskuorma lasketaan kaavasta 1.

$$E_d = \gamma_G * G + (\Psi_{dyn} - 1) * \gamma_Q * G \quad [2. \text{ s.9}] \quad (1)$$

missä G =elementin omapaino

γ_G = pysyvien kuormien osavarmuuskerroin (1,15)

Ψ_{dyn} = dynaaminen kerroin

γ_Q = muuttuvien kuormien osavarmuuskerroin (1,5).

Teknisessä raportissa CEN/TR 15728 annetaan dynaamisen kertoimen Ψ_{dyn} arvoja eri nostotilanteisiin, joista elementtitehtaiden ja työmaiden käyttämiä nostolaitteita ovat torni- tai siltanosturit sekä autonosturit. Liikkuvat nosturit tasaisessa tai epätasaisessa maastossa nostohetkellä ovat harvinaisia nostotilanteita, joita tämän työn liitteenä ole-

vat taulukot eivät kata, vaan ne tulee laskea erikseen. Dynaamisen kertoimen arvot eri nostotilanteissa esitetään taulukossa 1. [7. s.11-12].

Taulukko 1. Dynaamisten kertoimien arvot eri nostotilanteissa [2. s.10].

| Nostotilanne | Ψ_{dyn} |
|--|--------------|
| Torni- tai siltanosturi | 1,2 *) |
| Autonosturi | 1,4 *) |
| Liikkuva nosturi tasaisessa maastossa | 2,0 - 2,5 |
| Liikkuva nosturi epätasaisessa maastossa | 3,0 – 4,0 |
| *) Alemmatkin arvot voivat olla mahdollisia tehtaissa ja erityisjärjestelyin työmaalla | |

Betonteollisuus ry:n julkaisemassa Betonielementtien nostolenkit ja –ankkurit 2010 ohjeessa käytetään teknisen raportin CEN/TR 15728 Ψ_{dyn} annetusta suositusarvosta 1,4 poiketen arvoa 1,6 autonostureilla suoritettavista nostoista. Annettu arvo 1,6 tuo lisää varmuutta nostolenkkien mitoitukseen. Kuormien osavarmuuksille saadaan siis kokonaisarvoksi γ_{yht} kaavasta 2.

$$\gamma_{yht} = \gamma_G + (\Psi_{dyn} - 1) * \gamma_Q = 2,05 \text{ [2. s.10]} \quad (2)$$

Lisäksi kokonaisvarmuutta lisää nostolenkkien materiaaleista riippuva varmuuskerroin γ_s (ks. taulukko 2).

Taulukko 2. Teräksen osavarmuusluvun γ_s arvot nosto-osille materiaaleittain [2. s.8].

| Nosto-osan tyyppi | $f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2$ ja $f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8$ | $f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2$ tai $f_{yk}/f_{uk} > 0,8$ |
|--|---|--|
| Teollisesti valmistetut nostojärjestelmät *) | $\text{Max}(1,5; 1,2 f_{uk}/f_{yk})$ | 1,7 |
| Pyöröteräsnostolenkit **) | 2,0 | - |
| Jännepunokset | - | 1,8 |

*) Edellyttää, että valmistajan laadunvalvonta on ympäristöministeriön hyväksymän toimielimen varmentamaa tai tuote on CE-merkitty.

**) Teräslaadun tulee pyöröteräsnostolenkeillä olla vähintään S235J2+N. Myös teollisesti valmistetuilla pyörö- ja harjateräsnostolenkeillä tulee käyttää teräksen osavarmuuslukua 2,0, koska niihin tulee nostojen aikana plastisia muodonmuutoksia jo käyttörajan kuormilla.

Kuten edellä todettiin, myös kuormien osavarmuuskertoimet ovat muuttuneet eurokoodien käyttöönoton myötä. Rakenteiden omat painot ja pysyvät kuormat $[g]$ kerrottiin RakMK:n mukaan 1.2 (rakenteen edulliset kuormat 0,9) ja muuttuvat kuormat (hyötykuormat, lumi- ja tuulikuormat) kertoimella 1,6. Jos rakenteeseen vaikuttavia muuttuvia kuormia on useampi vain yksi, kerrotaan kertoimella 1,6 ja loput osavarmuuskertoimella 0,8.

Eurokoodien SFS EN-1990 ja SFS EN-1991-1-1 mukaan rakenteiden omat painot ja pysyvät kuormat $[g]$ kerrotaan 1.15 (rakenteen edulliset kuormat 0,9) ja määräävä muuttuva kuorma (yksittäinen hyötykuorma, lumi- tai tuulikuorma) kertoimella 1,5. Rakenteeseen vaikuttavat yhtäaikaisten muuttuvat kuormat kerrotaan lisäksi taulukko 3:n mukaisilla yhdistelykertoimilla.

Taulukko 3. NA SFS-EN1990 taulukko muuttuvien kuormien yhdistelykertoimet [6, s.2]

| Kuorma | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
|--|----------|----------|----------|
| Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso SFS-EN 1991-1-1) | | | |
| Luokka A: asuintilat | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Luokka B: toimistotilat | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Luokka C: kokoontumistilat | 0,7 | 0,7 | 0,3 |
| Luokka D: myymälätilat | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Luokka E: varastotilat | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Luokka H: vesikatot | 0 | 0 | 0 |
| Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3)*) kun $s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$ | 0,7 | 0,4 | 0,2 |
| $s_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$ | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| Jääkuorma **) | 0,7 | 0,3 | 0 |
| Rakennusten tuulikuormat (katso SFS-EN 1991-1-4) | 0,6 | 0,2 | 0 |
| Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (katso SFS-EN 1991-1-5) | 0,6 | 0,5 | 0 |
| *) Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huom: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. **) Lisätty Suomen kansalliseen liitteeseen. | | | |

2.2 Materiaalit

Teräksisille nosto-osille käytetään standardien antamaa murtolujuuden ominaisarvoa (vanha merkintä f_u ja uusi f_{uk}). Vanhojen ohjeiden mukaan pyöröterästankojen teräslaaduille S235 käytettiin murtolujuutta $f_u=370 \text{ N/mm}^2$ vetomurtoa vastaan ja teräslaaduille S355 ja AISI 304 (ruostumaton teräslaatu) käytettiin arvoa $f_u= 500 \text{ N/mm}^2$ [1. s.6].

Uusien standardien mukaan pyöröteräksissä käytettäville teräslaaduille tulee käyttää murtorajan ominaisarvoa f_{uk} . Teräslaadulle S235 käytetään arvoa $f_{uk}=360 \text{ N/mm}^2$ ja teräslaaduille S355 ja 1.4301 (vanha merkintä AISI 304) käytetään arvoa $f_{uk}=510 \text{ N/mm}^2$ [2. s.20].

Betonin lujuusluokituksien mukainen merkintä on muuttunut EN-standardien myötä. Vanhat K merkinnät ovat korvattu C merkinnöillä, esim. vanhan RakMK:n mukainen betoniin lujuusluokitus K30 on korvattu merkinnällä C25/30, missä molemmissa luku 30 tarkoittaa betonin kuutiolujuutta, mutta C merkinnässä kauttaviivan vasemmalla puolella oleva luku ilmoittaa myös betonin sylinterilujuuden.

Myös laskuissa käytettävät betonin ominaisvetolujuuden arvot hieman poikkeavat toisistaan. Vanhassa normissa betonille käytettiin lujuusluokkien mukaisia ominaisvetolujuuden arvoja f_{ctk} , mutta eurokoodien mukaisissa laskuissa käytetään betoniin ominaisvetolujuuden suunnitteluarvoa f_{ctd} . Betonin vetolujuuden suunnitteluarvo saadaan kaavasta 3.

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} * f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \quad (3)$$

missä γ_c = betonin osavarmuusluku (ks. taulukko 4)

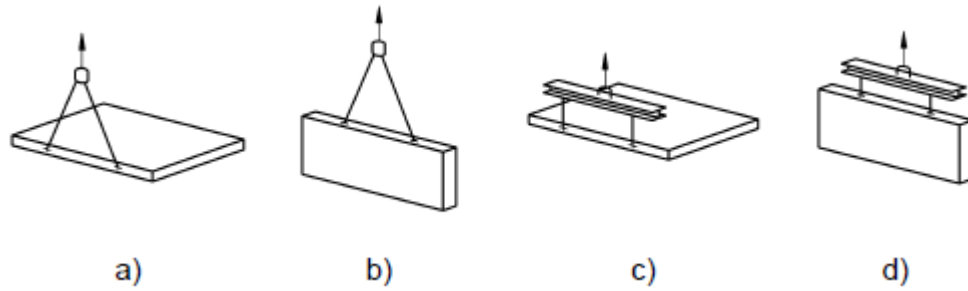
$f_{ctk,0,05}$ = betonin ominaisvetolujuus

α_{ct} = kerroin, jonka avulla otetaan huomioon vetolujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät ja kuorman vaikuttamistavasta riippuvat epäedulliset tekijät (suositusarvo 1).

Betonin osavarmuusluku γ_c on riippuvainen kuormitustavasta. Osavarmuusluvut ovat suositusarvoja, joita voidaan käyttää varmennetussa laadunvalvonnassa tilanteessa missä betoni ei ole haljennut nosto-osien läheisyydessä. Kuormitustavat löytyvät kuvasta 1.

Taulukko 4. Betonin osavarmuusluvun γ_c arvot [2. s.9].

| Kuormitustapa | Varmennettu laadunvalvonta |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Veto | 1,5 |
| Leikkaus, yhdistetty veto ja leikkaus | 1,5 |



Kuva 1. Eri nostotilanteissa nosto-osiin vaikuttavat voimat:

- a) yhdistetty pysty- ja poikittaisleikkausvoima
- b) yhdistetty veto ja poikittaisleikkausvoima
- c) pystyleikkausvoima
- d) normaalivoima [7. s.11].

Eurokoodien betonin ominaisvetolujuuden arvot $f_{ctk,0,05}$ (taulukko 5) eri betoninlujuusluokille ovat hieman pienentyneet RakMK:n arvoista (taulukko 6) johtuen muuttuneesta vetolujuuden laskentakaavasta (esim. K45 betonilla $f_{ctk}=2,5\text{MPa}$ ja uuden luokituksen C35/45 betonilla $f_{ctk,0,05}=2,2\text{MPa}$).

Taulukko 5. Eurokoodin mukaiset betonin lujuusominaisuudet [3. s.30].

| Betonin lujuusluokka | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 90 | Analyttinen yhteys/viittaus |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| f_{ck} (MPa) | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 90 | |
| $f_{ck, cube}$ (MPa) | 15 | 20 | 25 | 30 | 37 | 45 | 50 | 55 | 60 | 67 | 75 | 85 | 95 | 105 | |
| f_{cm} (MPa) | 20 | 24 | 28 | 33 | 38 | 43 | 48 | 53 | 58 | 63 | 68 | 78 | 88 | 98 | $f_{cm} = f_{ck} + 8(\text{MPa})$ |
| f_{ctm} (MPa) | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,1 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 5,0 | $f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$ |
| $f_{ctk,0,05}$ (MPa) | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,4 | 3,5 | $f_{ctk,0,05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5 % fraktiili |
| $f_{ctk,0,95}$ (MPa) | 2,0 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 3,8 | 4,2 | 4,6 | 4,9 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 6,6 | $f_{ctk,0,95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95 % fraktiili |

Taulukko 6. RakMK:n mukaiset betonin lujuusominaisuudet [8. s.11].

| Lujuusluokka | f_{ck} | f_{ctk} | E_c |
|--------------|----------|-----------|--------|
| K100 | 70,0 | 3,9 | 43 000 |
| K90 | 63,0 | 3,7 | 42 000 |
| K80 | 56,0 | 3,5 | 41 000 |
| K70 | 49,0 | 3,3 | 40 000 |
| K60 | 42,0 | 3,1 | 39 000 |
| K50 | 35,0 | 2,7 | 35 000 |
| K45 | 31,5 | 2,5 | 34 000 |
| K40 | 28,0 | 2,3 | 32 000 |
| K35 | 24,5 | 2,1 | 30 000 |
| K30 | 21,0 | 1,9 | 27 000 |

3 Laskenta

3.1 Haara- ja nostokulma

Kun betonielementtejä nostetaan ilman tasauspalkkia, jonka avulla nostolenkkeihin kohdistuva voima saadaan pystysuoraksi, nosto-osiin kohdistuu vinoa nostorasitusta. Nostolenkkeihin kohdistuva vino vetorasitus kasvaa samalla kuin haarakulma β kasvaa. Haarakulma on nostokettinkien välinen kulma. Nostokulma puolestaan taas on nosto-osan symmetria-akselin ja vinorasytusta aiheuttaman voiman välinen kulma (ks. kuva 2) [2. s.10-11].

Haarakulman vaikutus nosto-osaan kohdistuvan voiman määräämiseksi voidaan käyttää yksinkertaistettua laskukaavaa (kaava 4), missä $z = 1/\cos(\beta/2)$. Vakion z arvot eri haarakulmille löytyvät taulukosta 7.

$$F = \frac{G}{2} * z \quad [2. \text{ s.10}] \quad (4)$$

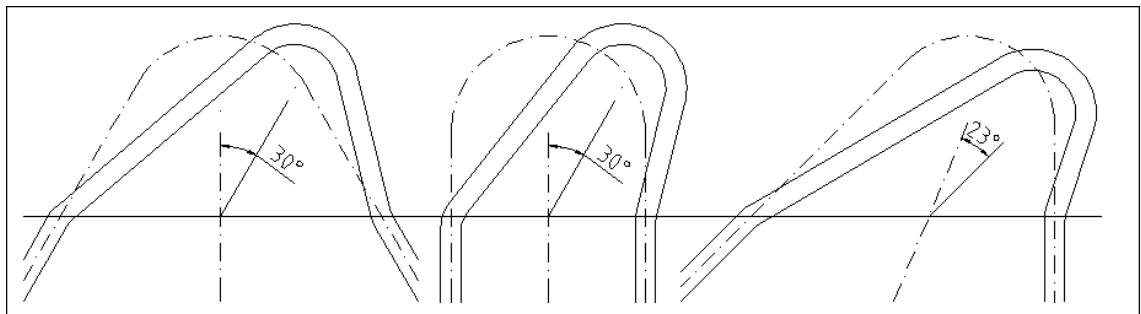
Taulukko 7. Vakio z eri haarakulman arvoilla [2. s.11].

| β | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 105° | 120° |
|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| z | 1,00 | 1,01 | 1,03 | 1,08 | 1,15 | 1,26 | 1,41 | 1,64 | 2,00 |

Haarakulman suurin sallittu kulma on 120° , mutta suositeltava enimmäisarvo on rajattu 90° kulmaan.

Kuormien jakautuessa epätasaisesti nosto-osille, niiden sijaitessa epäsymmetrisesti elementin painopisteen suhteen, tulee nostolenkeille tulevat voimat laskea tapauskohtaisesti.

Voimien jakautuminen nosto-osien haaroille riippuu nostonsuunnasta, nostokulmasta ja nostolenkeissä tapahtuvista muodonmuutoksista nostohetkellä. Nostokulman ollessa enintään 30° , voidaan olettaa voimien jakaantuvan tasaisesti nostolenkin molempaan haaraan [2. s.13].

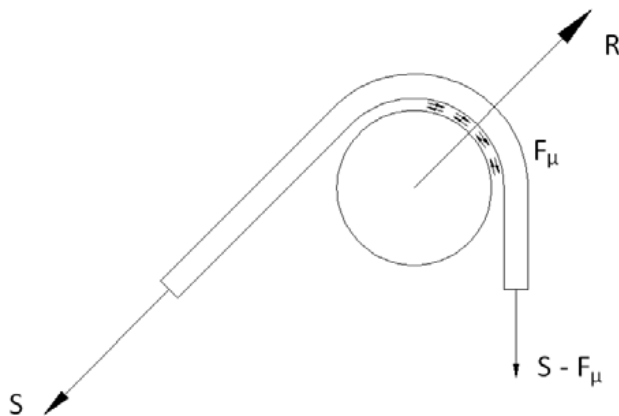


Kuva 3. Nostolenkkejä, joiden nostokulma muodonmuutoksien jälkeen enintään 30° [2. s.13].

Tämän työn liitteenä olevissa taulukoissa ei huomioida nostolenkkien deformatumista, sillä aiheen laskennasta ja tutkimisesta saisi kokonaan oman työnsä.

Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit kirjassa [1] vuonna 2003 julkaistussa versiossa oletettiin vain toisen haaran toimivan vetorasitukselle nostokulman ylittäessä 45° , sillä toinen haara tulee tässä tilanteessa puristutetuksi. Olettamassa ollaan hyvinkin varmallalla puolella, sillä siinä ei huomioida nostolenkkien taivutusjäykkyyttä tai nostoapulaitteen ja nosto-osan välille syntyvää kitkaa

Uudessa 2013 päivitettyssä versiossa Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit 2010 [2] on käytetty hyväksi VTT:n tutkimuslausesta (BET95023, Nostolenkkien vetokokeet ja lausunto nostolenkkien mitoitus- ja suunnitteluohjeesta. Jukka Jokela ja Asko Sarja. 1979), missä on nostolenkkien vetokokeiden avulla todettu vino nostoissa myös nostolenkin pystyhaaran osittain toimivaksi nostotilanteessa.



Kuva 4. Nostoapulaiteelta välittyvät voimat nostolenkkien haaroille [2. s.71].

Kun betonielementissä on kuvan 4 mukainen nostolienkki toisella puolella ja samanlainen peilikuvana toisella puolella, saadaan resultantti R kaavasta 5.

$$R = 0,7 * G \quad (5)$$

Kun kyseessä ei ole suoranosto, nostolenkin taivutusjäykkyys vastustaa nostoapulaitetta liukumasta nostolenkin alla. Lisäksi syntyy kitkavoima F_{μ} nostolenkin ja nostoapulaitteen välille, mikä lasketaan kaavasta 6.

$$F_{\mu} = \mu R \quad (6)$$

missä R =voiman resultantti
 μ = kitkakerroin.

Terästen välinen kitkakerroin on noin 0,2, mutta korottamalla kerroin arvoon 0,3 pyritään huomioimaan myös nostolenkin taivutusjäykkyyden vaikutus kitkavoimaan. Sijoittamalla kaavan 5 resultantti kaavaan 6, saadaan kitkavoimalle F_{μ} arvo $0,2 \cdot G$. Kahden pisteen nostoissa elementin paino G jakaantuu tasan molemmille nostolenkeille, niiden sijaitessa betonielementin painopisteen suhteen symmetrisesti. Nostava voima yhdessä nostolenkissä on siten $0,5 \cdot G$, jolloin köysivoiman S (ks. kuva 4) arvoksi saadaan $0,4 \cdot G$. Pystyhaaraan kohdistuva voima on köysivoiman S ja kitkavoiman F_{μ} erotus, joten pystyhaarassa vaikuttava voima on puolet noston suuntaisesta haarasta eli $0,2 \cdot G$. Pyöröteräslenkkiä taivutusjäykkyyden suhde vetojäykkyyteen on suurempi kuin jännepunoslenkkien, olettaen pystyhaaraan vaikuttavasta voimasta (50% voiman suuntaisen haaran voimasta) VTT:n teettämien tulosten perusteella on silti varmalla puolella oleva oletamus [2. s.71].

Laskemalla voimien jakaantuminen nostolenkkien haarojen välillä uuden ohjeen mukaan, saadaan ankkurointipituuteen vaikuttavia voimia pienentää vino nostoissa 20% vanhoihin mitoitusohjeiden mukaisesta arvosta.

3.2 Imuvoima

Imuvoimalla tarkoitetaan tässä tapauksessa kitkan ja adheesioyhteisvaikutuksesta tapahtuvaa tartuntavoimaa tuoreen betonielementin ja muottipinnan välillä. Kun elementtitehtaalla valmistetaan levyelementtejä, ei-käännettävissä muoteissa elementin ja muotin pinnan imuvoima on huomioitava nostoissa. Uusien eurokoodien mukaisessa ja vanhassa RakMK:n mukaisessa laskennassa muotin tyypistä ja olosuhteesta johtuvat imuvoimien perusarvot ovat samoja (ks. taulukko 8), mutta laskennassa käytettävä

muuttuvien kuormien osavarmuuskerroin γ_Q on muuttunut (ks. 2.1 Varmuus ja kuormitukset). EN-standardit antavat eri maiden käyttää omia kansallisia arvoja, mutta Suomessa käytetään ainakin toistaiseksi tekniseen raporttiin CEN/TR 15728 mukaisia ohjeellisia arvoja.

Taulukko 8. Imuvoimien ohjeelliset arvot eri tilanteissa [2. s.9].

| Muotin tyyppi ja olosuhteet | q_{adh} *) |
|--|---------------------|
| Öljytty teräsmuotti | 1 kN/m ² |
| Sileäpintainen puumuotti | 2 kN/m ² |
| Karkeapintainen puumuotti | 3 kN/m ² |
| *) Betonin ja muotin yhteenlasketulle kontaktipinta-alalle | |

Kohokuviollisissa muoteissa imuvoima voi kasvaa kuvioinnista riippuen jopa kaksinkertaiseksi elementin painoon nähden, joten tällaisissa tapauksissa imuvoimalla on huomattava merkitys nosto-osien ankkuroinnin mitoituksessa [2. s.9].

Imuvoiman vaikutus noston yhteydessä lasketaan kaavasta 7.

$$E_d = \gamma_G * G + \gamma_Q * q_{adh} * A_f \quad (7)$$

missä G =elementin omapaino

γ_G = pysyvien kuormien osavarmuuskerroin

q_{adh} = imuvoima

γ_Q = muuttuvien kuormien osavarmuuskerroin

A_f = kontaktipinta-ala.

4 Laskelmien rajoitukset

4.1 Yleistä

Taulukoiden nostolenkkien kapasiteetit ovat pyörötankolenkkien osalta mitoitettu terälaaduille S235J2+N/S355J2+N ja ruostumattomille teräksille 1.4301/1.4404. Jännepunoslenkkeinä käytetään kylmänä vedettyjä jännepunoksia St1630/1860. Kylmissä olosuhteissa (alle -25°C) tulee teräksen kylmä haurastuminen huomioida laskuissa erikseen. Punoslenkkejä ei saa hitsata ja pyörötankolenkkien hitsaamista taivutettujen kohtien osilta ei sallita [2. s.16].

4.2 Betonin paksuus

Betonielementtien betonipaksuus nostoissa tulee olla niin suuri, että elementtiin ei pääse syntymään halkeamia/murtumia joita ei voida estää betonin raudoituksella. Vanhojen ohjeiden mukaan nostolenkit mitoitetaan toimimaan täydellä kapasiteetilla betonielementeissä ja nostolenkin materiaalin tulisi katketa ennen kuin betoni halkeaa tai nosto-osan ankkurointi pettää.

Tässä työssä tutkitut nostolenkit (pyöröteräs- ja jännepunoslenkit) siirtävät haaroille tulevat kuormat betoniin teräksen ja betonin tartunta ominaisuuksien avulla. Betonin ja teräksen tartunnassa, teräksen ympärillä oleva betoni jakaa kohdistuvat voimat ympärilleen. Kun nostolenkin ankkurointipituus halutaan saada riippumattomaksi betonielementin paksuudesta, saadaan betonipaksuudeksi EN 1992-1-1, osan 8.4.4 mukaisesti min. betonipaksuudeksi suorana betoniin valettaville nostolenkeille 7 kertaa nostolenkin halkaisija ja taivutetuille nostolenkeille 11 kertaa nosto-osan halkaisija. Nämä vaatimukset voivat olla liian vaativia, erityisesti ohuissa kuorielementeissä. Betonin halkeaminen riippuu pääasiassa betonin lujuudesta, ankkurointivoimasta ja betonin reunatäisyydestä [7. s.23].

4.3 Betonin lujuus nostohetkellä

Nostolenkit mitoitetaan käyttämällä betonin nostohetken lujuutta. Betonielementtien nostolenkit ja ankkurit 2010-ohjeessa kerrotaan, että betonielementtien kuljetuksessa

ja siirrossa betonin tulisi olla vähintään 70% nimellislujuudesta, ellei laskelmin toisin osoiteta. Vaatimus 70% nimellislujuuden saavuttamisesta ennen nostoa on käytännössä mahdoton elementtitehtaiden nopean muottikierron takia [2. s.9].

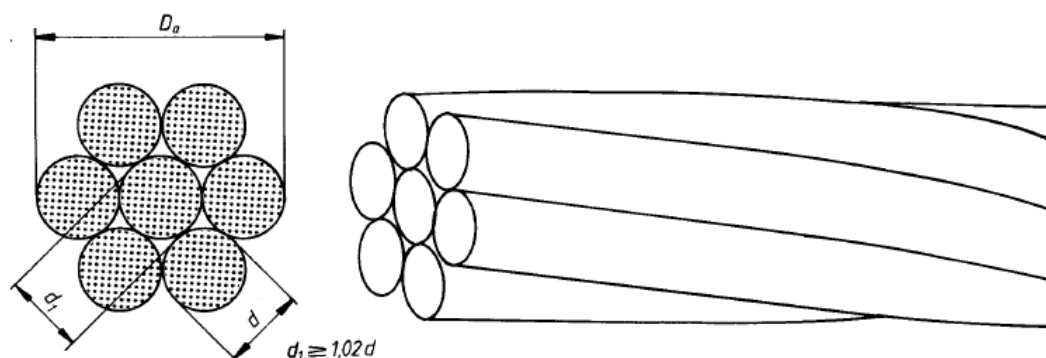
Tekniseen raportin CEN/TR 15728 mukaan betonin lujuus nostohetkellä tulee olla vähintään C12/15 MPa, jos muita ehtoja ei nostohetken lujuudella ole määrätty [7. s.15].

Betonin nostohetken lujuus tulee olla välillä C12/15-C50/60. C50/60 nostohetken lujuuden ylittävissä tapauksissa käytetään nostohetken lujuuden C50/60 arvoja [2. s.9].

5 Jännepunosnostolenkit

5.1 Yleistä

Jännepunos muodostetaan yhteensä seitsemästä yksittäisestä langasta, jotka taas muodostetaan lämpökäsitellystä ja kuumavalssatusta valssilangasta. Lämpökäsittelyn aikana saavutetaan langalle haluttu kylmämuokattavuus. Punoksen keskellä on ns. sydänlanka, jonka ympärille kuusi pintalankaa asetetaan ja punos kierretään tiukasti niin, että kaikki langat puristuessaan toisiinsa muodostavat tiukan punoksen [9. s.3].



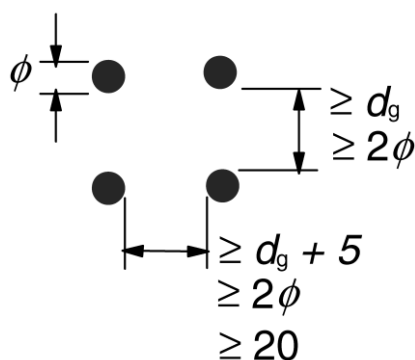
Kuva 5. Punoksen rakenne [9. s.3].

Jännepunoslenkkeinä käytetään kylmänä vedettyjä St1630/1860 tai St1550/1770 lujuusluokan jännepunoksia. Lujuusluokan ensimmäinen numero ilmoittaa lujuusluokan 0,2 rajan eli jännityksen jolla lujuusluokan teräs saa pysyvän venymän arvon 0,2%. Jälkimmäinen arvo taas ilmoittaa teräksen murtolujuuden. Jännepunoslenkkeinä voidaan käyttää myös muita lujuusluokan jännepunoksia, joilla on hyväksytty voimassa oleva käyttöseloste, mutta tässä työssä keskitytään lujuusluokan St1630/1860 jännepunoksiin [9. s.2].

Jännepunoslenkkien käyttö betonielementeissä, mahdollisuuksien mukaan, on järkevää, sillä jännepunoslenkit voidaan valmistaa samoista jännepunoksista joita käytetään mm. ontelolaattojen valmistuksessa (St1630/1860). Ontelolaatoista ja muissa elementeistä, joissa jännepunoksia käytetään, jää usein ylimääräisiä punoksia joita ei voida pituusiensa puolesta enää käyttää itse elementtien valmistukseen, mutta ne sopivat hyvin taas käytettäväksi nostolenkkeinä.

5.1.1 Jännepunoksien asennus

EN 1992-1-1 mukaan jänteiden ryhmityksessä betoniin, jänteiden keskinäisten välien tulee olla riittävä, että betoni päästään valamaan ja tiivistämään hyvin betonin ja jänteiden riittävän tartunnan aikaansaamiseksi. Vaatimukset koskevat jännebetonirakenteita, eivätkä nostolenkkejä, mutta tässä työssä sovelletaan niitä myös nostolenkkeihin [3. s.144].



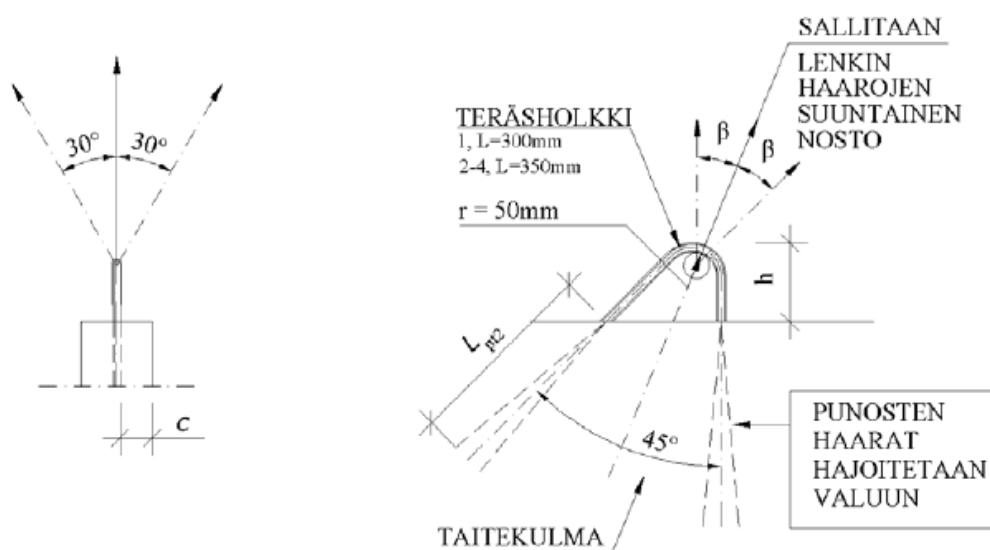
Kuva 6. Tartuntajänteiden pienin vapaaväli [3. s.144].

Käyttäessä useampaa kuin yhtä punosta samassa nostolenkissä, punokset niputetaan lenkkiryhmäksi käyttäen taivutettavaa teräsholkkia. Punoksia voidaan niputtaa enintään neljä punosta yhteen nostolenkkiin. Punosniput sijoitetaan elementteihin keskeisesti

paksuus suunnassa, milloin suojabetonipeite c (ks. kuva 7) on sama kaikilla punosryhmän lenkeillä. Kuvan 6 mukaisesta pienimmästä sallitusta punosten vapaavälistä vain vaaka suuntaisilla vapaa väleillä on merkitystä. Annetuista ehdoista valitaan suurin arvoista:

- kaksi kertaa jännepunosten nimellishalkaisija
- kiviaineksen suurin raekoko (d_g) + 5 mm
- 20 mm [3. s.144].

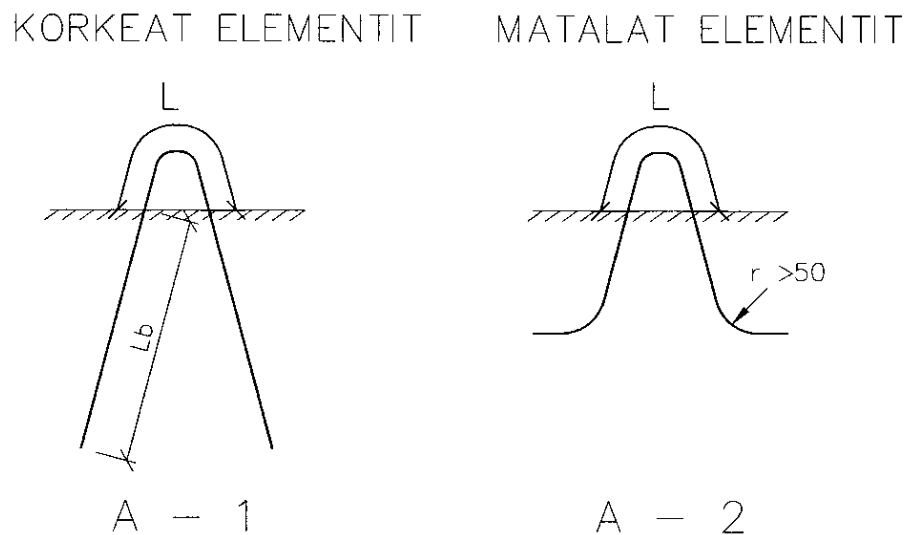
Punosryhmiä ei saa sitoa toisiinsa valussa, vaan ne tulee aina hajottaa betonivaluun ja varmistaa punosten vapaaväli sitomalla erilliset punokset betonielementin muuhun raudoitukseen esim. harjateräsverkkoon.



Kuva 7. Punosnostolenkki [2. s.43].

Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit 2010-ohjeessa annetaan esimerkki nostolenkkien tyyppiinustuksesta [2. s.43], minkä mukaan punoksen suojabetonipeitteen c (kuva 7) tulee olla vähintään viisi kertaa punoksen nimellishalkaisija. Tämä on sama kuin teknisessä raportissa CEN/TR 15728 [7.] annettu vaatimus elementin paksuudes-

ta taivutettuina ankkuroitavilla jännepunoslenkeillä (ks. 4.2). Raportissa annettu betonielementin vähimmäispaksuus (11 kertaa punoksen nimellishalkaisija) elementtiin taivutettuna ankkuroitaville punoslenkeille on sama kuin suojabetonipeitteen c vaatimus (viisi kertaa punoksen nimellishalkaisija), kun vaaditusta betonielementin paksuudesta vähennetään nostolenkin nimellispaksuus ja toiselta puolelta vaatimuksen mukainen suojabetonipeite c . Suorina ankkuroitaville jännepunoslenkeille suojabetonipeitteen vähimmäisarvoksi saadaan 3 kertaa punoksen nimellishalkaisija. Kuvassa 8 on esitetty jännepunoslenkkien taivutustyytit (A-1 suorina ja A-2 taitettuina ankkuroitavat punokset).



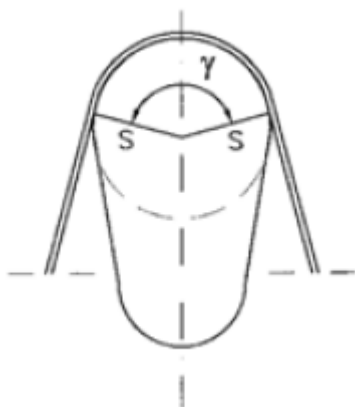
Kuva 8. Jännepunoslenkkien taivutus tyytit [2. s.26].

Kuvassa 8 on myös esitetty lenkkien ulkonevan osuuden pituus L , jonka vähimmäispituutena tulee olla 250 mm molemmissa taivutusmalleissa (huom. kyseessä on ulkonevan osuuden pituus, ei lenkin ulkonevan osuuden korkeus betonielementin yläpinnasta). Lisäksi taivutus mallille A-2 on annettu lenkin vähimmäistaivutussäde r , jonka tulee olla suurempi kuin 50 mm.

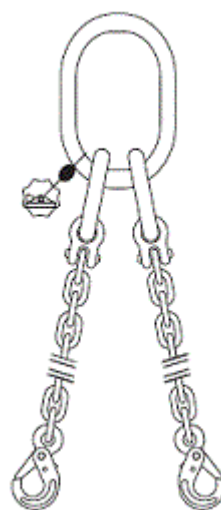
5.1.2 Nostot ja nostoapulaitteet

Jännepunoslenkkejä nostetaan nostoapulaitteita käyttäen. Nostoapulaitteilla saadaan lisättyä punoksien kapasiteettia murtumista vastaan. Punokset murtuvat yleensä säikeittäin ja mitä pienempi nostoapulaitteen halkaisija on, sitä pienemmällä vetovoimalla punoksen murto alkaa. Nostoapulaitteen vaikutus punosten nostokapasiteettiin huomioidaan nostoapulaitteen kaarevuudesta riippuen. Kuvassa 9 on nostoapulaite, missä s on nostoapulaitteen poikkileikkauksen kaarevuussäde ja kulma γ on nostoapulaitteen nostolenkkiin tukeutuvan osan keskuskulma [2. s.27].

Kuva 9. Nostoapulaite [2. s.27].



Kuva 10. Nostoraksit [10].



Nostoapulaitteilla tarkoitetaan kettinkiraksien turva- ja salpakoukkuja, joilla elementit yleensä nostetaan. Jännepunosnostolenkkien nostoissa on kuitenkin huomioitava, että nostoapulaitteen vähimmäishalkaisija tulee olla 65 mm jos jännepunoksia on niputettu useampi kuin yksi nosto-osaan. Koukkujen halkaisija vaihtelee yleensä välillä 25-50 mm, joten niputettujen nostolenkkien kanssa tulee käyttää vaatimuksen mukaista nostoapulaitetta esim. suurta sakkelia (ks. kuva 11) [2. s.28].



Kuva 11. Sakkeli [2. s.28].

Jännepunoksesta valmistettuja nostolenkkejä ei saa käyttää kuljetusasennosta pystyyn käännettävillä seinäelementeillä. Toisin sanoen, jännepunosnostolenkkejä ei tule käyttää vaakatasossa valettavissa muoteissa, jos pöytä ei ole pystyyn käännettävä tai jos elementtejä joutuu kääntämään työmaalla kuljetusasennosta poikkeavaan asentoon.

5.2 RakMK:n mukainen mitoitus

Vanhassa Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit suunnitteluohjeessa [1] sanotaan:

Punoksen ankkuroinnille betoniin asetetaan vaatimus, että ankkurointipituuden on oltava niin suuri, että punos katkeaa ennen kuin se irtoaa betonista [1. s.23].

Vanhan ohjeen ankkurointipituus saadaan kaavasta 8.

$$L_b \geq \frac{4 * S_G}{k_b * f_{ctk} * u_s} \quad [1. s.23]$$

reunaehto

$$R_K \geq 4 * S_G \quad (8)$$

missä L_b = ankkurointipituus
 S_G = elementin oman painon aiheuttama kuorma lenkin haaraan
 k_b = punoksen tartuntakerroin (1,5)
 f_{ctk} = betonin vetolujuuden ominaisarvo
 u_s = punoksen ympärysmitta
 R_K = lenkin haaran murtokapasiteetti.

Kaavan 8 yhtälöllä kuitenkin vain tarkastetaan, että punoksen kapasiteetti on riittävä nostoon, mutta todellinen ankkurointipituus saadaan jakamalla punoksen vetomurto-kuorma varmuuskertoimella tai taulukosta 9. Taulukossa olevat ankkurointipituudet ovat millimetreissä.

Taulukko 9. Ankkurointipituudet lujuusluokan St 1550/1770 jännepunoksille

| Punuskoko | Ankkurointipituudet suurimmille sallituille punoskuormille | | | | | | | | | |
|-----------|--|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | K15 | K20 | K25 | K30 | K35 | K40 | K45 | K50 | K55 | K60 |
| Ø9,3 | 1510 | 1250 | 1080 | 950 | 860 | 790 | 725 | 680 | 640 | 600 |
| Ø12,5 | 2010 | 1660 | 1435 | 1270 | 1145 | 1050 | 970 | 900 | 850 | 800 |

Vanhan ohjeen vaatimuksen johdosta jännepunoslenkkien ankkurointipituus oli hyvinkin varmalla puolella, mutta ankkurointipituudet ovat joissain elementeissä vaikea toteuttaa. Esimerkiksi aukkojen kohdalla yli kahden metrin ankkurointi on hankala toteuttaa, erityisesti jos jännepunoksia on useampi ja ne joudutaan erottamaan valuun.

5.3 Eurokoodien mukainen mitoitus

Uusien ohjeiden mukaan ankkurointi lasketaan SFS-EN 1992-1-1 osan 8.10.2 Tartuntajänteiden ankkurointi kohdan mukaisesti. Tartuntapituuksien mitoituksessa tartuntajännitys lasketaan kaavasta 9.

$$f_{bpt} = \eta_{p1} * \eta_1 * f_{ctd} \quad [3. \text{ s.145}] \quad (9)$$

missä f_{bpt} = tartuntajännitys

η_{p1} = kerroin, jonka avulla huomioidaan jänneteräksen tyyppi

ja tartuntaolosuhteet jännityksen siirrossa

η_1 = kerroin, joka huomioi tartuntaolosuhteet

f_{ctd} = betonin vetolujuuden mitoitusarvo (ks. kaava 3).

Kertoimen η_{p1} avulla huomioidaan jännepunoksen tyyppi. Kertoimen arvo on kuviopintaisilla langoilla 2,7 ja käytettäessä 3- ja 7-lankaisia punoksia arvo on 3,2. Tämän työn tarkasteltavissa jännepunostenlenkeissä käytetään 3- tai 7-lankaisia punoksia. Kertoimelle η_1 käytetään arvoa 1,0, jos jänneteräksellä on hyvät tartuntaolosuhteet, muissa tapauksissa käytetään arvo 0,7 [3. s.145 - 146].

Kaavasta 10 saadaan laskettua jännepunoksen siirtymäpituuden perusarvo.

$$l_{pt} = \frac{\alpha_1 * \alpha_2 * \phi * \sigma_{pm0}}{f_{bpt}} \quad [3. s.146] \quad (10)$$

missä l_{pt} = siirtymäpituuden perusarvo

f_{bpt} = tartuntajännitys

α_1 = kerroin, joka huomioi jännevoiman siirron nopeuden

α_2 = kerroin, joka huomioi jänneteräksen poikkileikkauksen muodon

ϕ = jänneteräksen nimellishalkaisija

σ_{pm0} = jänneteräksen jännitys juuri jännevoiman siirron jälkeen.

Kertoimelle α_1 käytetään arvoa 1,0 kun jännevoiman siirto tapahtuu hitaasti (esim. nostolenkkien nostotilanteessa) ja kerrointa 1,25 kun siirto tapahtuu nopeasti. Kertoimen α_2 arvo riippuu jänneterästyypistä. Pyöreille poikkileikkauksille käytetään arvoa 0,25 ja 3- ja 7-lankaisille punoksille arvoa 0,19 [3. s.146].

Uudesta Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit 2010 suunnitteluohjeissa on poistettu teksti, missä vaatimuksena oli jännepunoksen katkeaminen ennen sen ir-

toamista betonista (ks. 5.2.1). Tartuntapituutta laskettaessa teräksen jännitys laske-
taankin kaavasta 11.

$$\sigma_{pm0} = \frac{S}{\phi} \quad (11)$$

missä σ_{pm0} = teräksen jännitys

S = nostolenkin yhteen haaraan kohdistuva voima

ϕ = jänneteräksen nimellishalkaisija.

Lopullinen jännepunosnostolenkin tartuntapituus saadaan kaavasta 12.

$$l_{pt2} = 1,2 * l_{pt} \quad [3. s.146] \quad (12)$$

Kerrointa 1,2 käytetään murtorajatilatarkasteluissa (leikkaus, ankkurointi jne.). Ker-
rointa 0,8 voidaan käyttää jännevoimien siirtohetkellä syntyvien paikallisten jänni-
tysten tarkastamisessa [3. s.146].

Jännepunosnostolenkeissä käytetään kolmea erikokoista jännepunosta. Nimel-
lishalkaisijoita löytyy:

- $\phi=9,3$ mm, poikkipinta-ala 52 mm^2
- $\phi=12,5$ mm, poikkipinta-ala 93 mm^2
- $\phi=12,9$ mm, poikkipinta-ala 100 mm^2 .

Jännepunoksista tehtyjen nostolenkkien kapasiteetin rajoittaa yhden haaran mitoitus-
kestävyys, mikä saadaan kaavasta 13.

$$N_{Rd,s} = \frac{k_1 * k_2 * A_s * f_{uk}}{\gamma_s} \quad [3. s.21] \quad (13)$$

missä k_1 = nostoapulaitteen poikkileikkauksen kaarevuussäteestä
riippuva kerroin (ks. taulukko 10)

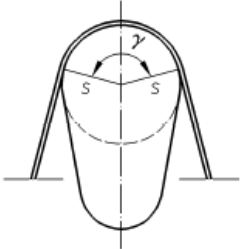
k_2 = niputettujen jännepunosten kuorman redusointikerroin
(ks. taulukko 11)

A_s = punoksen poikkipinta-ala

f_{uk} = teräksen murtolujuuden ominaisarvo

γ_s = teräksen osavarmuusluku.

Taulukko 10. Niputettujen jännepunosten redusointikerroin [7. s.21].

| Halkaisija 2s [mm] | k_1 |  |
|-------------------------|-------|--|
| 25 tai $\gamma \leq 60$ | 0,65 | |
| 50 | 0,8 | |
| ≥ 75 | 0,9 | |

Taulukko 11. Punosten lukumäärän redusointikerroin [2. s.28].

| Niputettujen punosten lukumäärä | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------------------|-----|-----|------|------|
| k_2 | 1,0 | 0,9 | 0,85 | 0,75 |

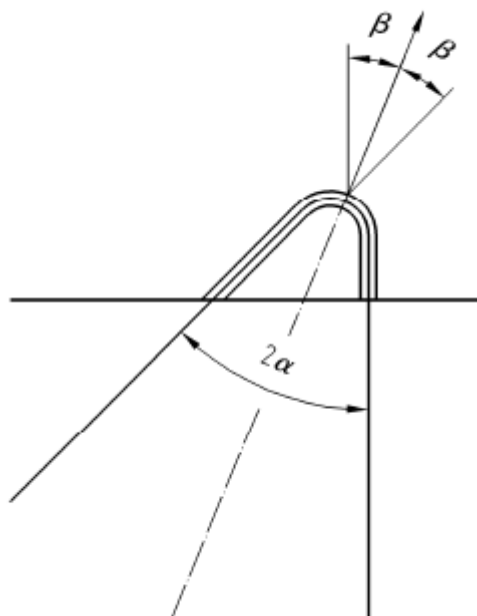
Käytettäessä teräsholkkia yksittäisen punoslenkin kanssa, voidaan kerrointa k_1 korottaa 25%, kuitenkin niin, että $k_1 \leq 1,0$ [7. s.21].

CEN/TR 15728 raportissa määrätään, että nostokulma β (ks. kuva 12-13) ei saa ylittää kulmaa $\pm 30^\circ$ ja lenkkien taivutuskulmat 2α ei saa ylittää arvoa 60° . Nostolenkin kapasiteettia tulisi vähennetään 15% jokaista 10° nostokulman muutosta kohtaan, mut-

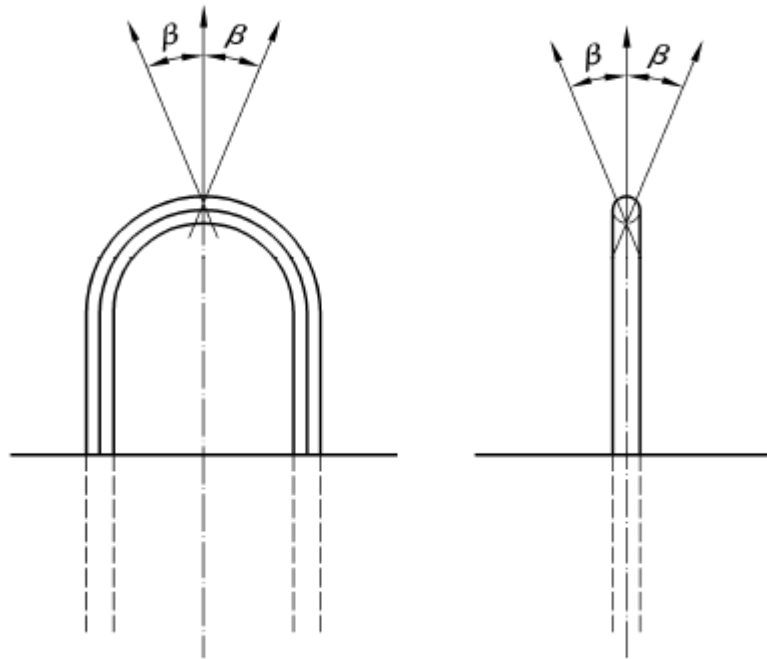
ta tarkemmat nostokapasiteetin vähennykset pystytään laskemaan nostolenkkien taivutuskulman ja noston haarakulman avulla (ks. liite 1) [7. s.31].

Koska nostolenkit eivät ole yleinen käyttökohde jänneteräksille, ei eurokoodeissa, RakMK:N määräyksissä tai muustakaan kirjallisuudesta löydy jänneteräksille minimi ankkurointipituutta. Jännepunoslenkkien asennuksessa on kuitenkin otettava huomioon nosto-osien työtekniset seikat elementtitehtailla. Hyvin lyhkäisiä punoksia ei pysty taivuttamaan, joten tässä työssä käytetään minimi tartuntapituutena L_b (ks. kuva 8) 300 mm (sisältää asennus toleranssin ± 50 mm).

Kuva 12. Jännepunosnostolenkkien taivutuskulma 2α ja nostokulma β [7. s.31].



Kuva 13. Jännepunosnostolenkkien nostokulma β [7. s.31].



Betonelementtien nostolenkit ja -ankkurit 2010-ohjeissa annetaan taivutuskulmille suositukset 45° ja 30° [2. s.28].

Taulukko 12. Ankkurointipituudet lujuusluokan St 1550/1770 jännepunoksille [2. s.27].

| | Betonin lieriölujuus f_{ck} nostohetkellä | | | | | | | | |
|----------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ϕ [mm] | 12 [MPa] | 16 [MPa] | 20 [MPa] | 25 [MPa] | 30 [MPa] | 35 [MPa] | 40 [MPa] | 45 [MPa] | 50 [MPa] |
| 9,3 | 940 | 790 | 690 | 600 | 540 | 490 | 450 | 420 | 400 |
| 12,5 | 1250 | 1040 | 900 | 780 | 700 | 640 | 590 | 550 | 520 |

Kun verrataan taulukkoa 9 ja taulukkoa 12, huomataan että uusien laskentakaavojen mukaan lasketut tartuntapituudet ovat yli kolmanneksen lyhyempiä kuin vanhojen. Tämä johtuu eurokoodien mukaisesta osavarmuuslaskennasta. Vanhassa RakMK:n mukaisessa laskennassa kuormalle annetaan 4-kertainen varmuus ja uudessa varmuus on jaettu teräksen ja kuorman osavarmuuskertoimiin.

6 Pyöröteräsnostolenkit

6.1 Yleistä

Pyöröteräsnostolenkkejä valmistetaan rakenneteräslaaduista S235J2+N ja S355J2+N sekä ruostumattomista teräslaaduista 1.4301 ja 1.4404. Nostolenkkien valmistaminen muista teräslaaduista vaativat hyväksytyn tutkimuslaitoksen kokeisiin pohjautuvan selvityksen teräslaadun toiminnasta [2. s.16].

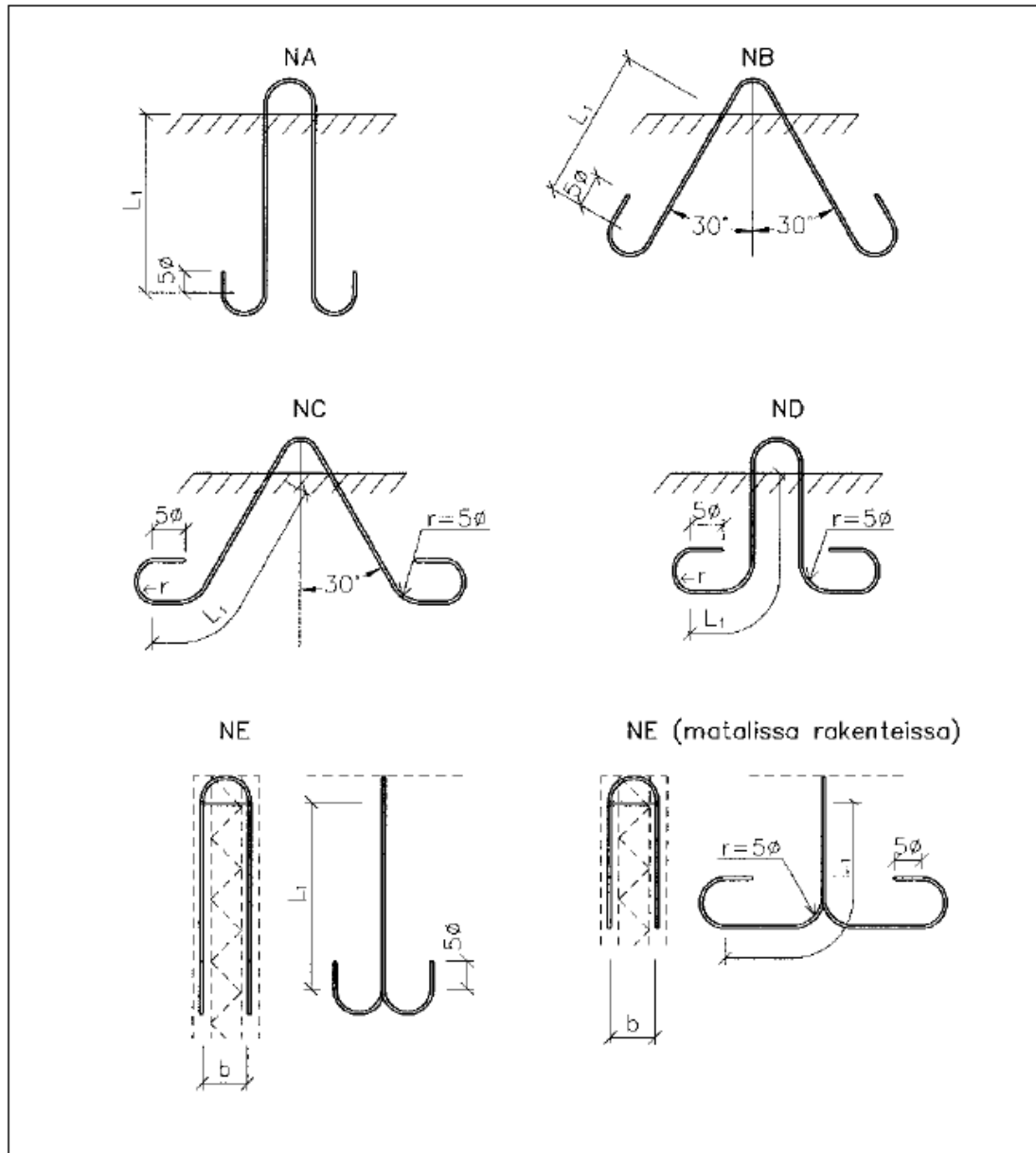


Kuva 14. Pyöröteräsnostolenkki [10.]

Pyöröteräsnostolenkit soveltuvat melkein kaikenlaisten elementtien nostoon taivutustyyppistä riippuen (ks. kuva 15). Pilari- ja palkkielementtien sekä kantavien seinäelementtien nostoihin soveltuvia taivutustyppejä ovat NA-ND. NE-tyyppiset taivutustyyppit soveltuvat sandwich-elementtien eli kaksikuorielementtien nostoon [2. s.17].

Pyöröteräsnostolenkit tulee aina varustaa betonivaluun tulevilla päätekoukuilla. Päätekoukkujen taivutusmitat ja lenkkien taivutus mitat löytyvät kuvasta 15. Päätekoukkujen taivutussäde on riippuvainen käytetystä teräslaadusta. Yleensä taivutus säteenä käytetään $2,5 * \phi$ (ϕ =pyöröterästangon halkaisija), mutta korkealujuus teräksillä (S355J2+N ja 1.4301) pyöröteräsnostolenkeilla tulee käyttää taivutussädettä $5 * \phi$. Myös sandwich-elementeissä käytettävissä NE-tyypin nostolenkeillä tulisi käyttää suurempaa taivutussädettä ohuen betonikuoren takia [2. s.17-18].

Kuva 15. Pyöröteräslenkkin taivutustyytit [2. s.18].



Taivutustyypeissä NC, ND ja NE taivutussäde r (ks. kuva 15), joka on ankkurointipituisuuden matkalla tehtyjen taivutusten taivutussäde, tulisi olla $5 \cdot \phi$. Samalla taivutussäteellä tulisi myös hoitaa kaikki elementtitehtäällä tehdyt lisätaivutukset. Lisätaivutusten kohdalla tarvittavat lisäraudoitukset tulee laskea tapauskohtaisesti [2. s.18].

6.2 RakMK:n mukainen mitoitus

RakMK:n osan B4 mukaisessa mitoituksessa pyöröteräsnostolenkin ankkurointipituus saatiin kaavasta 14.

$$L_b = \frac{4 * S_G}{k_b * f_{ctk} * u_s} \quad [1. s.14] \quad (14)$$

missä L_b = ankkurointipituus

S_G = elementin oman painon aiheuttama kuorma lenkin haaraan

k_b = pyörötangon tartuntakerroin (1,0)

f_{ctk} = betonin vetolujuuden ominaisarvo

u_s = teräksen ympärysmitta.

Pyöröteräksen päätekoukkujen osuus ankkurointipituudesta saadaan kaavasta 15.

$$L_{bh} = k_h * \phi \quad [1. s.14] \quad (15)$$

missä $k_h = 10$

ϕ = pyöröterästangon halkaisija.

Betonin pinnasta koukun kaarevaan osan alkukohtaan vaadittava ankkurointipituus saadaan kaavasta 16.

$$L_1 = L_b - L_{bh} \quad [1. s.14] \quad (16)$$

Mitoittaessa pyöröterästä vetomurtoa vastaan käytettiin kaavaa 17.

$$F = \frac{A_s * f_u}{4} \quad [1. s.15] \quad (17)$$

missä F = sallittu lenkin yhteen haaraan tuleva kuorma

A_s = käytettävän pyöröteräksen poikkileikkausala

f_u = teräksen murtolujuus (huom. uudessa mitoituksessa käytetään eri murtolujuutta ks. 2.2).



Kuva 16. Pyöröteräsnostolenkki [12.]

6.3 Eurokoodien mukainen mitoitus

Betonirakenteiden suunnittelua käsittelevä eurokoodi SFS-EN 1992 ei pidä sisällään sileäpintaisten pyöröterästen käyttöä koskevia suunnittelu ohjeita tai määräyksiä. Mallinormissa CEB-FIB Model Code 2010 [11.], johon eurokoodi perustuu, on annettu tartunnan perusarvolle laskentakaava (kaava 18).

$$f_{b,0} = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 * \frac{(f_{ck} / 20)^{0,5}}{\gamma_c} \quad [11. \text{ s.239}] \quad (18)$$

missä

- η_1 = tangon pinnan muodon huomioiva kerroin
- η_2 = tankojen asennon ja tartunnan valun aikana huomioiva kerroin
- η_3 = tangon halkaisijan huomioiva kerroin
- η_4 = teräksen myötölujuuden huomioiva kerroin
- f_{ck} = betonin ominaispuristuslujuus
- γ_c = betonin osavarmuusluku (1,5).

Kaavassa 18 kerroin η_1 saa arvon 0,9 käytettäessä sileitä tankoja ja tankojen asennon huomioiva kerroin η_2 saa arvon 0,5, sillä pyöröterästen käyttö luokitellaan erikoistilan-

teeksi (normaalisti hyvissä olosuhteissa kerroin saa arvon 1,0). Kertoimen η_3 arvo riippuu käytettävän tangon halkaisijasta seuraavasti:

- $\eta_3 = 1,0$ jos $\phi \leq 20mm$
- $\eta_3 = (20/\phi)^{0,3}$ jos $\phi > 20mm$.

Kertoimen η_4 arvot eri teräksen lujuuksille:

- $\eta_4 = 1,0$ jos $f_{yk} = 500MPa$
- $\eta_4 = 1,2$ jos $f_{yk} = 400MPa$
- $\eta_4 = 0,85$ jos $f_{yk} = 600MPa$
- $\eta_4 = 0,75$ jos $f_{yk} = 700MPa$.

Listassa ei ole pyöröteräsnostolenkeissä käytettävien teräslaatuojen myötölujuuksia (S235: $f_{yk} = 235MPa$, S355: $f_{yk} = 355MPa$), joten pyöröteräslenkeille tulisi käyttää myötölujuuden $f_{yk} = 400MPa$ arvoa 1,2 [11. s.240].

Harjateräksisänostolenkkejä käytettäessä tartunnan mitoitusarvoon f_{bd} voitaisiin lisätä poikittaisen raudoituksen ja betoni peitteen paksuuden vaikutus, mutta pyöröteräksillä tartunnan perusarvo on myös mitoitusarvo ($f_{bd} = f_{,0}$) [2. s.65].

Vakiopäätekoukut ottavat osan nostolenkkiin kohdistuvasta voimasta. Päätekoukkujen osuus voimasta saadaan kaavasta 19.

$$F_h = 50 * f_{bd} * A_b \quad [2. s.14] \quad (19)$$

missä F_h = päätekoukkujen ottama voima
 f_{bd} = tartunnan mitoitusarvo
 A_b = tangon poikkileikkausala.

Mitoitus ankkurointipituus lasketaan kaavasta 20.

$$l_b = \alpha_4 * \frac{\phi * \sigma_{sd}}{4 * f_{bd}} \geq l_{b,\min} \quad [11. \text{ s.244}] \quad (20)$$

missä l_b = ankkurointipituus
 $\alpha_4 = 1,0$
 ϕ = tangon halkaisija
 σ_{sd} = tangossa vallitseva jännitys nostohetkellä
 f_{bd} = tartunnan mitoitusarvo.

Päätekoukkujen ottama osa nostolenkin haaraan kohdistuvasta voimasta vähennetään tangon suoraan osaan kohdistuvasta voimasta. Tästä saadaan laskentakaava tangossa vallitsevalle jännitykselle (kaava 21)

$$\sigma_{sd} = \frac{F}{A_b} - \frac{F_h}{A_b} \quad [11. \text{ s.239}] \quad (21)$$

missä F_h = päätekoukkujen ottama voima
 F = nostolenkin haaraan kohdistuva voima
 A_b = tangon poikkileikkausala.

Ankkuroinnin tulee kuitenkin olla vähintään suurin arvoista (kaava 22).

$$l_{b,\min} > \max \left\{ 0,3 * l_b * \frac{f_{yd}}{\sigma_{sd}}; 15d_b; 200mm \right\} \quad [11. \text{ s.245}] \quad (22)$$

missä l_b = ankkurointipituus
 f_{yd} = teräksen mitoitus murtolujuus
 d_b = tangon halkaisija
 σ_{sd} = tangossa vallitseva jännitys nostohetkellä.

Mallinormin mukaisessa laskennassa pyöröterästankojen tartunta on huomattavasti heikompi kuin vanhan RakMK:n mukaisessa laskennassa (vrt. taulukot 13 ja 14). Laskettaessa esim. 10 mm tangon tartuntaa betonin lieriölujuuden ollessa nostohetkellä 12 MPa, tartuntapituus on 2,3-kertainen. Betonin lieriölujuuden ollessa nostohetkellä 50 MPa, tartuntapituus kasvaa jopa 3,9-kertaiseksi [2. s.19;67].

Taulukko 13. Model Code 2010 mukainen ankkurointipituus L_1 (ks. kuva 15) [2. s.66].

| | Betonin lieriölujuus f_{ck} [MPa] nostohetkellä | | | | | | | |
|----------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| ϕ [mm] | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 |
| 10 | 1490 | 1280 | 1130 | 1000 | 900 | 820 | 760 | 670 |
| 12 | 1790 | 1530 | 1350 | 1200 | 1080 | 990 | 920 | 800 |
| 16 | 2380 | 2040 | 1800 | 1590 | 1440 | 1320 | 1220 | 1070 |
| 20 | 2980 | 2550 | 2250 | 1990 | 1800 | 1640 | 1520 | 1340 |
| 25 | 4030 | 3450 | 3050 | 2700 | 2440 | 2240 | 2070 | 1820 |
| 32 | 5640 | 4830 | 4280 | 3790 | 3420 | 3140 | 2910 | 2560 |

Taulukko 14. RakMK:n mukainen ankkurointipituus L_1 (ks. kuva 15) [1. s.14].

| Ø (mm) | K15 | K20 | K25 | K30 | K35 | K40 | K45 | K50 | K55 | K60 |
|-----------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 10 | 650 | 520 | 430 | 370 | 330 | 290 | 260 | 240 | 220 | 200 |
| 12 | 780 | 620 | 520 | 450 | 390 | 350 | 310 | 280 | 260 | 240 |
| 16 | 1040 | 830 | 690 | 600 | 520 | 460 | 420 | 380 | 350 | 320 |
| 20 | 1300 | 1040 | 870 | 740 | 650 | 580 | 520 | 470 | 440 | 400 |
| 25 | 1630 | 1300 | 1090 | 930 | 820 | 730 | 660 | 590 | 550 | 510 |
| 32 | 2080 | 1660 | 1390 | 1190 | 1040 | 930 | 830 | 750 | 700 | 650 |

Yllä olevien taulukoiden ankkurointipituudet on laskettu teräslaadulle S235J2+N (vanha S235JRG2) ja mitoittavana kuormana on käytetty teräksen mitoitusmurtolujuutta. Taulukoiden ankkurointipituuksien suositusarvoja voidaan käyttää myös teräslaaduille S355J2+N/1.4301 (vanha S355J0/AISI 304), sillä tartuntapituuden lisääminen ei lisää päätekoukun kapasiteettia murtoon saakka kuormitettaessa (oletuksena, että koukku on riittävän syvällä betonissa ja betonipeitteen paksuus on riittävä estämään kartiomurron) [2. s.19].

Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit 2010-ohjeessa on laskentaan yhdistetty vanhan ohjeen ja mallinormin periaatteita. Taulukon 15 tartuntapituuksien suositusarvoja on suurennettu betonin vetolujuuden kasvun termin $f_{ck}^{2/3}$ ja pyöröterästen tartuntalujuuden kasvun termin $f_{ck}^{1/2}$ välisellä suhteella [2. s.19].

Taulukko 15. 2010 ankkurointipituuden L_1 (ks. kuva 15) suositusarvot [2. s.19].

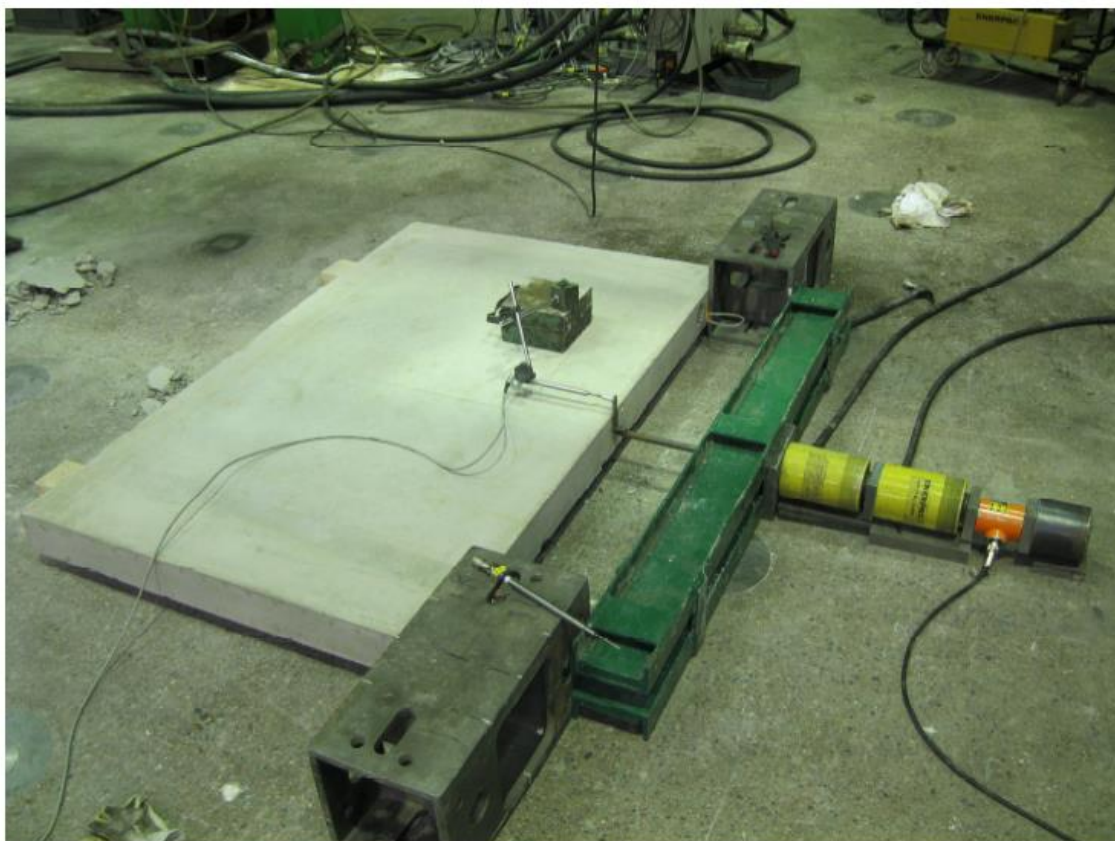
| | Betonin lieriölujuus f_{ck} nostohetkellä | | | | | | | | |
|----------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ϕ [mm] | 12 [MPa] | 16 [MPa] | 20 [MPa] | 25 [MPa] | 30 [MPa] | 35 [MPa] | 40 [MPa] | 45 [MPa] | 50 [MPa] |
| 10 | 650 | 550 | 470 | 420 | 360 | 310 | 300 | 280 | 260 |
| 12 | 780 | 650 | 570 | 510 | 430 | 370 | 340 | 330 | 320 |
| 16 | 1040 | 870 | 750 | 680 | 570 | 500 | 470 | 440 | 410 |
| 20 | 1300 | 1090 | 950 | 840 | 720 | 620 | 570 | 550 | 510 |
| 25 | 1630 | 1370 | 1190 | 1050 | 920 | 790 | 720 | 690 | 650 |
| 32 | 2080 | 1740 | 1520 | 1350 | 1140 | 990 | 920 | 880 | 830 |

Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit 2010-ohjeessa todetaan myös, että jos oletetaan tehdasolosuhteissa valmistetuille nostolenkeille hyvät tartuntaolosuhteet betonielementtiin, käyttäessä tartuntakertoimelle η_2 arvoa 1,0 (ks. kaava 18) tartuntapituuden L_1 arvot ovat 1,0-1,7-kertaiset verrattuna Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit 2003-ohjeen suositusarvoihin (taulukko 14) [2. s.67].

Tämän työn liitteenä olevat tartuntapituustaulukot ja esimerkkilaskelmat on laadittu yllä olevaa oletusta käyttäen.

6.3.1 Betonin murtuminen ohuissa levyissä

Ohuissa levyelementeissä (väliseinäelementit ja sandwich-elementit) on huomioitava pyöröteräsnostolenkin koukun aiheuttama halkaisuvoima. Betonin murtuminen pienentää nostolenkin nostokapasiteettia [2. s.20].



Kuva 17. Pyörötangon ulosvetokokeen koejärjestely [13. s.2].

VTT teki vuonna 2013 Betoniteollisuus ry:lle vetokokeita, joiden avulla haluttiin saada tuloksia päatekoudella varustetun pyörötangon voima-liukumayhteydestä. Vetokokeissa huomattiin, että pyöröterästangon ankkuroinnin suora osa kantaa kuormituksen alkuvaiheessa kuorman kokonaan, mutta kuormitettaessa tankoa vetomurtoon asti kuormitus siirtyy melkein kokonaan pyöröterästangon päatekoukulle. Vetokokeiden tutkimustuloksista voidaan todeta, että pelkästään päatekoukku, jonka taivutussäde on $2,5 * \phi$, riittää ankkuroimaan nosto-osan teräksen murtokuormaan asti [2. s.19; 69].

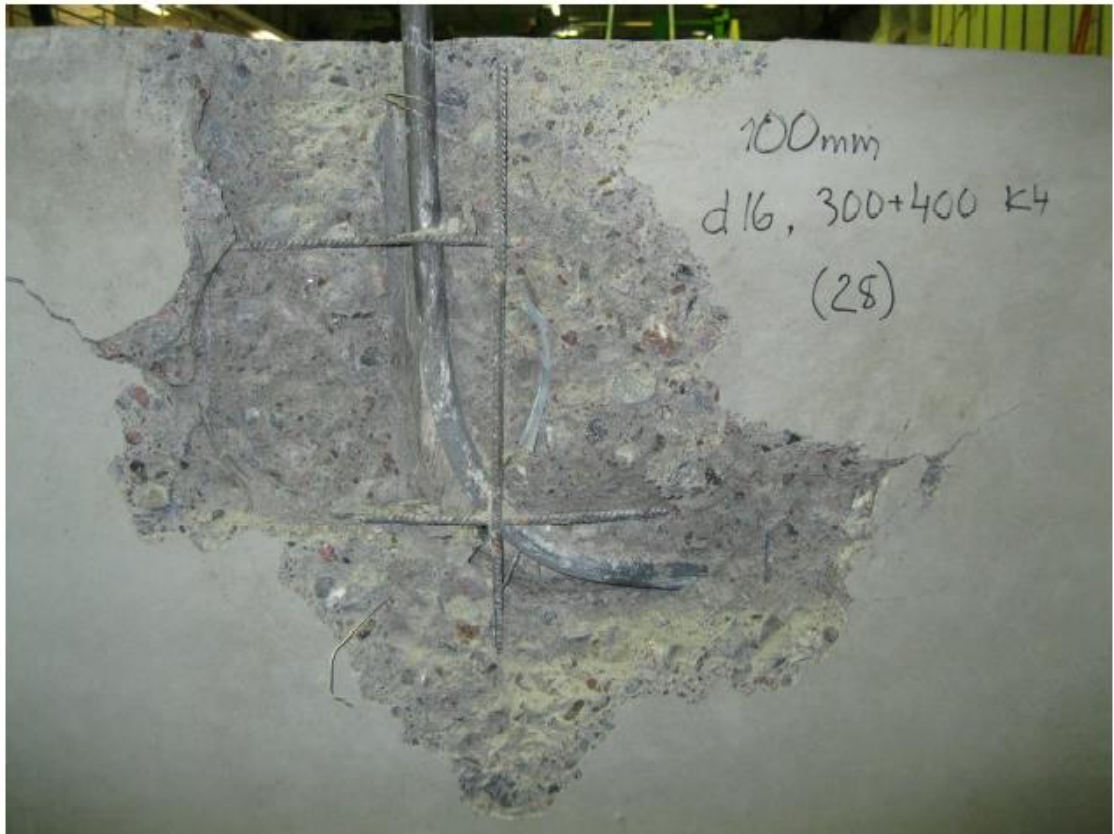
Vetokokeissa koestettiin suoria pyöröterästankoja (NA ja NB taivutustyyppit, ks. kuva 15) sekä taivutettuja tankoja (NC ja ND taivutustyyppit, ks. kuva 15), joita käytetään seinäelementeissä ikkuna- ja oviaukkojen kohdalla. Taivutettujen tankojen päatekoukkujen taivutussäteenä käytettiin $5 * \phi$ ja suorien tankojen taivutussäteenä $2,5 * \phi$. Pyöröterästankojen halkaisijat olivat 12 mm, 16 mm ja 20 mm. Tankojen ankkurointipituutena käytettiin $50 * \phi$. Vetokokeiden tavoiteltu betonin kuutiolujuus oli 20 MPa, mutta koska

kokeet suoritettiin usean päivän aikana ja betonin lujuus kehittyi ajan funktiona, todelliset kuutiolujuudet vaihtelivat 22,4 - 31,5 MPa:n välillä. Tavoitelluksi kuutiolujuudeksi valittiin 20 MPa, koska elementtitehtaissa elementtien ensinostot tapahtuvat betonin kuutiolujuuden ollessa 15 - 20 MPa [13. s.1-3; 2. s.69].



Kuva 18. Koestuskappaleen murtumistapa (betonin murtokartio koukun kohdalla) [9. s.9].

Vetokokeiden tuloksista havaittiin, että betonin lujuudella ei ole merkitystä betonin murtumaan ohuissa betonikuorissa. Päätekoukun taivutussäteellä ei myöskään näyttänyt olevan merkitystä, sillä betoni murtui samasta voimasta ($\pm 5kN$) riippumatta käytetystä taivutussäteestä. Murtokuorman ja betonipeitteen paksuudella taas näytti olevan lineaarinen yhteys. Betonipeitteen ollessa 4,5-kertainen pyöröterästangon halkaisijaan, saavutettiin teräksen murtolujuus teräslaadulla S355 (3,2 kertainen teräslaadulla S235) [2. s.69].



Kuva 19. Koestuskappaleen murtumistapa (raudoitusverkko murtokartiossa) [13. s.9].

Mitoittaessa pyöröteräsnostolenkkiä ohueen betonikuoreen, tulee vetovoiman redusoitu arvo laskea kaavasta 23.

$$N_{Rd, reduced} = k_{grade} * N_{Rd} \quad [2. s.20] \quad (23)$$

missä N_{Rd} = mitoitusvetovoima

k_{grade} = teräslaadusta riippuvainen pienennyskerroin (ks. kaava 24).

$$k_{S235} = \min\left(\frac{c}{(3,2 * \phi)}; 1,0\right) \quad (24)$$

tai

$$k_{S355/1.4301} = \min\left(\frac{c}{(4,5 * \phi)}; 1,0\right) \quad [2. s.20]$$

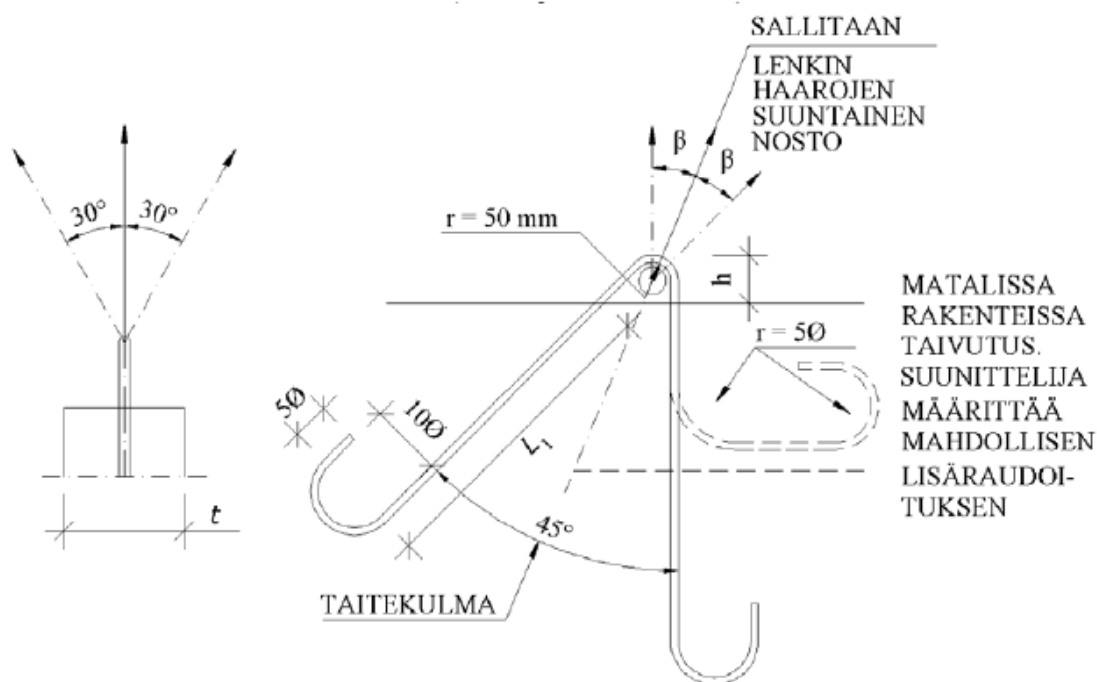
missä c = betonipeitteen paksuus
 ϕ = tangon halkaisija.

Taulukossa 16 on laskettu kaavan 23 mukaiset betonikuoren paksuudet, kun nostolenkki sijaitsee keskeisesti kuoressa ja nostolenkit on mitoitettu pyöröteräksen täydelle kapasiteetille.

Taulukko 16. Betonikuorten paksuudet, teräksen täyttä kapasiteettia käytettäessä [2. s.20].

| Teräslaatu | Pyörötangon halkaisija ϕ [mm] | | | | | | |
|------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 25 | 32 |
| | Kuoren paksuus t [mm] | | | | | | |
| S235 | 75 | 90 | 105 | 120 | 150 | 185 | 240 |
| S355 | 100 | 120 | 140 | 160 | 200 | 250 | 320 |

Pyöröteräksistä valmistetuille nosto-osille ei tarvitse käyttää teknisen raportin CEN/TR 15728 mukaisia betonikuoripaksuuksia (ks. 4.2), sillä tarvittava betonikuoren paksuus pystymään laskemaan tarkemmin kaavan 23 mukaisesti. Ohuissa kuori- ja sandwich-elementeissä nosto-osan kohdalle voidaan myös valaa paikallisesti paksumpi kohta, jotta betonin kartiomurto voidaan estää.



Kuva 20. Pyöröteräsnostolenkki [2. s.44].

6.3.2 Ruostumattomien lenkkien käyttö

Ruostumattomasta teräksestä valmistettuja nostolenkkejä (tässä työssä pyörönostolenkit) tulee käyttää jos elementissä käytetään ruostumatonta terästä. Esimerkiksi sandwich-elementeissä ohuen ulkokuoren suojaava betonipeite ruostuvalle raudoitukselle ei välttämättä täytä vaadittuja ympäristön asettamia vaatimuksia, joten ulkokuoresa on käytettävä ruostumatonta teräslaatuja. Tämä myös ajaa siihen, että sisä- ja ulkokuoren yhdistävän nosto-osan tulee olla valmistettu ruostumattomasta teräksestä.

Ruostumattoman teräsosien käytössä tulee myös huomioida mahdollinen lämpölaajenemisen aiheuttama halkeilu. Tavallisen ”mustan teräksen” ja betonin pituuden lämpötilakertoimet ovat käytännössä samat, mutta ruostumattomalla teräksellä pituuden lämpötilakerroin on isompi. Korkeissa lämpötiloissa betoni pyrkii tartunnan välityksellä estämään ruostumattoman teräksen betonia suuremman pituuden muutoksen, jolloin betoniin syntyy vetojännitys ja raudoitukseen puristusjännitys, mikä voi aiheuttaa betonissa halkeilua [14.].

Elementtirakenteissa lämpötila voi nousta elementin valmistuslämpötila korkeammaksi ja näin ollen aiheuttaa jännitystilaa betonin ja nosto-osan välille. Halkeiluvaaraa ei kui-

tenkaan esiinny jos lämpötilan nousu on korkeintaan 15°C . Jos lämpötilan nousu ylittää 15°C , tulisi paksujen tankojen ($\geq \phi 20$) käyttöä välttää ohuissa kuorissa [2. s.21].

7 Ohjeistus taulukoiden käyttöön

Liitteenä olevat ankkurointipituuksien taulukot (liite 3 ja liite 4) ovat teoreettisia tartuntapituuksia, joihin tulee suhtautua varauksella.

Liitteiden ensimmäisillä sivuilla nähdään noston haarakulma ja nostolenkkien taivutus- kulma ja asento (vihreällä pohjalla olevat lukuarvot), millä taulukoiden tartuntapituudet on laskettu. Ensimmäisellä sivulla on myös ilmoitettu käytettävä teräslaatu sekä muut parametrit, joita laskennassa on käytetty. Taulukoiden tartunta pituudet pätevät ainoastaan kaksipistenostoissa, missä nostolenkit on sijoitettu symmetrisesti elementin painopisteen suhteen. Taulukoissa ei huomioida nostolenkkien muodonmuutoksia.

Taulukoiden ideana on, että suunnittelijalla/elementtitehtaalla olisi tiedossa elementin paino, käytettävät nostolaitteet, betonin lujuus nostohetkellä ja nostossa käytettävä haarakulma, minkä jälkeen voidaan valita taulukoista sopiva nostolenkkityyppi ja ankkurointi pituus kyseiseen nostoon. Elementtien maksimi painot on ilmoitettu sinisellä pohjalla taulukoiden alimmalla rivillä (huom. maksimi painot pätevät vain kyseisessä nostotilanteessa).

Liitteessä 4 olevassa pyöröteräsnostolenkkien tartuntapituustaulukossa ollaan oletettu, että tehdasolosuhteissa pyöröteräkselle voidaan käyttää tartuntakertoimen arvoa 1,0, mikä näkyy punaisella taustalla (ks. 6.3). Lisäksi nosto-osien päätekoukkujen taivutussäde on oltava $5 * \phi$. Taulukossa ei ole tarkastettu betonin kartiomurtoa, joten ohuissa kuorissa tämä laskenta tulisi suorittaa käsin tai käyttää suositeltuja betonipeitteen paksuuksia (ks. taulukko 16).

8 Johtopäätökset

Eurokoodien mukaantulo suunnitteluun on tuonut omat haasteensa nostolenkkien mitoittamiseen. Nosto-osien mitoittaminen osavarmuusmenettelyllä on vähentänyt varmuutta jännepunosnostolenkkien mitoituksessa ja sitä kautta pienentänyt tarvittavia ankkurointipituuksia. Lisäksi uusien ohjeiden mukaan jännepunoslenkkien tartuntapituuksia ei tarvitse mitoittaa niin, että punos katkeaa ennen kuin se irtaavaa betonista. Ongelmana mitoittaessa tartuntapituuksia todellisille voimille on, että annetut kaavat on tehty kun nosto-osia mitoitetaan murtokuormille, joten niiden soveltuvuutta pienemmille voimille ei voida taata. Lisäksi uuden Betonielementtien nostolenkit ja –ankkurit 2010 ohjeen mukainen laskenta, joka perustuu nostolenkkien muodonmuutoksen mukaiseen laskentaan, on huomattavasti monimutkaisempi kuin edeltävän ohjeen mukainen laskenta.

Pyöröteräslentien osalta betonirakenteiden suunnittelun eurokoodi ei kattanut siileäpintaisten terästen käyttöä, vaan laskenta perustuu mallinormin mukaiseen laskentaan, johon eurokoodit perustuvat. Osavarmuusmenettelyn ja mallinormin kaavojen myötä pyöröterästen tartuntapituudet kasvoivat vanhojen määräysten mukaiseen laskentaan.

Huomioitavaa on myös se, että jänne- ja pyöröterästen laskennan perustana ovat muut käyttötarkoitukset kuin niiden toimiminen nosto-osina, sillä eurokoodeissa ei oteta erikseen kantaa elementtien tai niiden nosto-osien suunnitteluun. Esimerkiksi jänneterästen minimi tartuntapituutta ei ole kerrottu eurokoodeissa, koska sen käyttö jännitetyissä rakenteissa ei sitä vaadi, vaan ankkurointi hoidetaan muulla tavalla kuin punoksien tartuntaominaisuuksia käyttäen. Lisäksi lyhyiden ankkurointipituuksien käytännön toimiminen pitäisi tutkia esim. onko nostohetkellä vielä kovettuvan betonielementin pinnassa betonin tartuntaominaisuudet yhtä hyvät kuin syvemmällä betonissa pitemmillä ankkurointipituuksilla.

Liitteenä olevien taulukoiden ankkurointipituuksien arvot ovat teoreettisia arvoja. Jotta taulukoita voitaisiin käyttää nostolenkkien suunnittelussa, tulisi suorittaa vetokokeita lyhyille ankkurointipituuksille. Suosittelemme käyttämään Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit 2010-ohjeen mukaisia suositusarvoja, sillä tartuntapituudet ovat varmalla puolella olevia arvoja, joista on teetetty vetokokeita tukemaan tartuntapituuksia. Elementti-

en nostoissa kyse on kuitenkin turvallisuudesta ja tämän työn tutkimuksien perusteella lyhyempien tartuntapituuksien käyttämisestä tarvitaan lisätietoa.

9 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin jännepunos- ja pyöröteräsnostolenkkien eurokoodien mukaista laskentaa ja vertailtiin sitä vanhaan RakMK:n mukaiseen laskentaan. Laskenta on muuttunut osavarmuusmenettelyn myötä, sillä vanhaa 4-kertaista varmuutta ei enää käytetä vaan teräksen laadun ja muuttuvien ja pysyvien kuormien osavarmuuden yhteenlasketusta arvosta saadaan käytettävä varmuus. Tämä jänneterästen osalta tarkoitti pienempää varmuutta, mutta pyöröterästen osalta suurempaa varmuutta. Materiaalien (teräs ja betoni) laskentalujuudet ovat myös muuttuneet eurokoodien myötä, joten nosto-osien kapasiteetti ja tartuntapituudet ovat sitä kautta myös muuttuneet.

Työssä käytiin myös läpi yleistä laskentateoriaa voimien siirtymisestä nosto-osaan eri nostotilanteissa. Lisäksi tutkittiin myös laskennallisia reunaehdoja VTT:n teettämien vetokokeiden perusteella ja pohdittiin laskennan toimivuutta, kun niitä käytetään eri käyttötarkoitukseen kuin ne oli alun perin luotu.

Työn tavoitteena oli luoda suunnittelijoiden ja elementtitehtaiden käyttöön työkalu, minä avulla betonielementtien nosto-osia voidaan mitoittaa eurokoodien mukaisesti. Lopputuloksena saatiin Excel-laskentapohja nosto-osien mitoitukseen. Nosto-osien laskenta vaati kuitenkin vielä lisätutkimuksia ja vetokokeita laskennan toimimisesta käytännössä. Laskentapohjaa voidaan lisätutkimuksien jälkeen kehittää myös toimivaksi muissakin kuin kaksipistenostoissa sekä niihin voidaan lisätä myös laskenta betonin kartiomurron tarkistamiseksi.

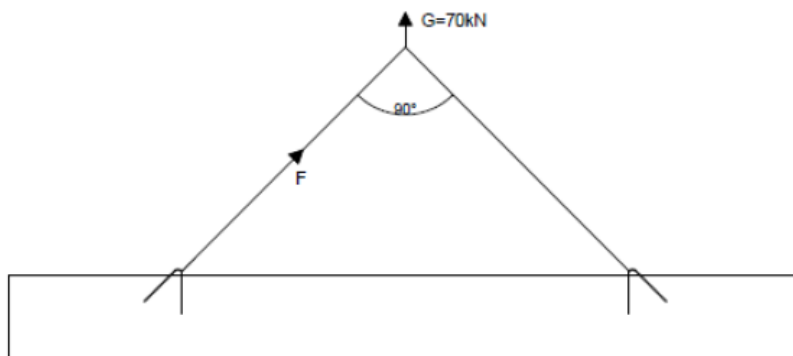
Lähteet

- 1 Betoniteollisuus ry. 2003. Betonielementtien nostolenkit ja –ankkurit. Lahti. Suomen betonitieto Oy.
- 2 Betoniteollisuus ry. 2010. Betonielementtien nostolenkit ja –ankkurit 2010 + muutokset 2013. Tampere, Suomen betonitieto Oy.
- 3 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2005. SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu, Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
- 4 Ympäristöministeriö. Määräykset 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma: B1 Rakenteiden varmuus ja kuormitukset.
- 5 Ympäristöministeriö. Ohjeet 2005. Suomen rakentamismääräyskokoelma: B4 Betonirakenteet.
- 6 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2007. SFS-EN 1990. Eurokoodi : Rakenteiden suunnitteluperusteet. NA (Suomen kansallinen liite).
- 7 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2008. CEN/TR 15728. Design and Use of Inserts for Lifting and Handling of Precast Concrete. Elements.
- 8 Tiehallinto. 2006. Betonirakenneohjeet 2006. Verkkojulkaisu pdf (http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/betonirakenneohjeet_2006.pdf).
- 9 Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 1987. Jänneteräs SFS 1265. Jännepunos.
- 10 Elementtisuunnittelu-kotisivut, <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-asennus/nostoohjeet>.
- 11 CEB-FIB Model Code 2010. 2010. First complete draft, Volume 1, 2010.
- 12 Pintos-kotisivut, <http://www.pintos.fi/tuotteet/nostolenkit>
- 13 Mörönen, Lasse. 2013. Tutkimuslause nro VTT-S-07383-13: Pyörötankotartuntojen ulosvetokokeet betonilevyistä. VTT.
- 14 Suomen Betoniyhdistys ry. 1993. Betoninormikortti numero 19: Ruostumattomien raudotteiden käyttö kantavissa teräsbetonirakenteissa. Helsinki.

Jännepunoslenkin laskentaesimerkki

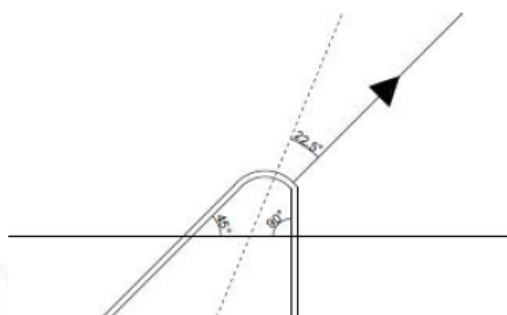
Jännepunoslenkin laskentaesimerkki

Betonipalkki painaa 7t (70kN) ja betonin lieriölujuus nostohetkellä on 25MPa. Nosto tapahtuu 90 asteen kulmassa ja palkki nostetaan kahdella punoslenkillä jotka ovat 45 asteen taivutuskulmassa. Punoslenkkeinä käytetään d=12,5mm, lujuus St1630/1860.



Tarkistetaan nostolenkin kapasiteetti. Nostossa käytetään nostoapulaitetta jonka halkaisija on 50mm ($k_1=0.8$). Punos varustetaan teräsholkilla, joten yhden punoksen lenkin kapasiteettia voidaan korottaa 25%.

$$N_{Rds} := k_1 \cdot k_2 \cdot A_s \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 0.8 \cdot 1.25 \cdot 93 \text{ mm}^2 \cdot \frac{1860 \text{ MPa}}{1.8} = 96.1 \text{ kN}$$



Nostokulman ollessa alle 30 astetta oletetaan lenkin molempien haarojen voiman olevan punoksen vetovoiman suuruinen.

Lasketaan yhteen nostolenkkiin kohdistuvan voiman ylöspäin suuntautuvat komponentit.

$$V_{Rd,vert} := N_{rd,s} \cdot (\cos(45^\circ) + \cos(0^\circ)) = 96.1 \text{ kN} \cdot (0.707 + 1) = 164.043 \text{ kN}$$

Vastaava elementin maksimipaino G_{max} käyttämällä haarakulmasta laskettavaa pienennys kerrointa z (maksimi paino laskettuna kahdelle symmetrisesti elementin painopisteen suhteen olevalle nostolenkille).

$$z := \frac{1}{\cos\left(\frac{90^\circ}{2}\right)} = 1.414 \quad (\text{ks. taulukko 7}).$$

$$G_{max} := \frac{V_{Rd,vert}}{\gamma_L \cdot z} \cdot 2 = \frac{164.043 \text{ kN}}{2.05 \cdot 1.414} \cdot 2 = 113.184 \text{ kN}$$

$$G < G_{max} = 70 \text{ kN} < 113.2 \text{ kN} \quad \text{-----} > \quad \text{Voidaan todeta, että nostolenkkien kapasiteetti on riittävä kyseiselle palkille.}$$

Lasketaan yhden haaran tarvitsemaa tartuntapituuden mitoitusarvoa voimalle F

$$F := \frac{G \cdot \gamma_L}{4} \cdot z = \frac{70 \text{ kN} \cdot 2.05}{4} \cdot 1.414 = 50.727 \text{ kN}$$

Tartuntajännityksen suuruus f_{bpt} saadaan kaavasta

$$f_{bpt} := \eta_{p1} \cdot \eta_1 \cdot f_{ctd} \quad f_{ctd} = \text{betonin vetolujuuden suunnitteluarvo (ks. kaava 3)}$$

$$f_{bpt} := 3.2 \cdot 1 \cdot 1.2 \text{ MPa} = 3.84 \text{ MPa}$$

$$\text{Teräksen jännitys } \sigma_{pm0} \text{ voimalla } F: \quad \sigma_{pm0} := \frac{F}{A_s} = \frac{50725 \text{ N}}{93 \text{ mm}^2} = 545.43 \text{ MPa}$$

Non-Commercial Use Only

Lasketaan tartuntapituuden perusarvo l_{pt} kaavasta

$$l_{pt} := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \phi \cdot \frac{\sigma_{pm0}}{f_{bpt}} = 1 \cdot 0.19 \cdot 12.5 \text{ mm} \cdot \frac{545.43 \text{ MPa}}{3.84 \text{ MPa}} = 337.343 \text{ mm}$$

Koska jännitys häviöitä ei tarvitse ottaa huomioon nostolenkeissä, tartuntapituuden mitoitusarvo l_{pt2} saadaan kaavasta

$$l_{pt2} := 1.2 \cdot l_{pt} = 1.2 \cdot 337.343 \text{ mm} = 404.812 \text{ mm}$$

Lisäämällä tartuntapituuden mitoitusarvoon vielä 50mm asennustoleranssi, saadaan lopulliseksi ankkurointipituudeksi 455mm.

Mitoittaessa 12.5mm St1630/1860 teräslaadun jännepunoslenkkiä täydelle kapasiteetille tulisi punoksen tartuntapituus olla 820mm (sis. asennustoleranssin).

Vertailun vuoksi alla olevasta taulukosta nähdään punosten St1550/1770 tartuntapituuksia, mitoittaessa nostolenkkejä niiden täydelle kapasiteetille.

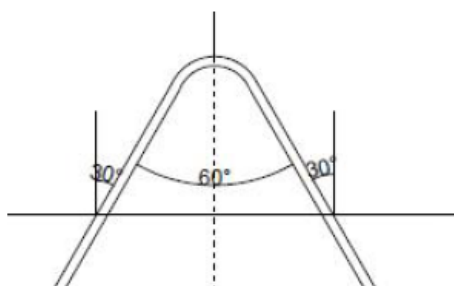
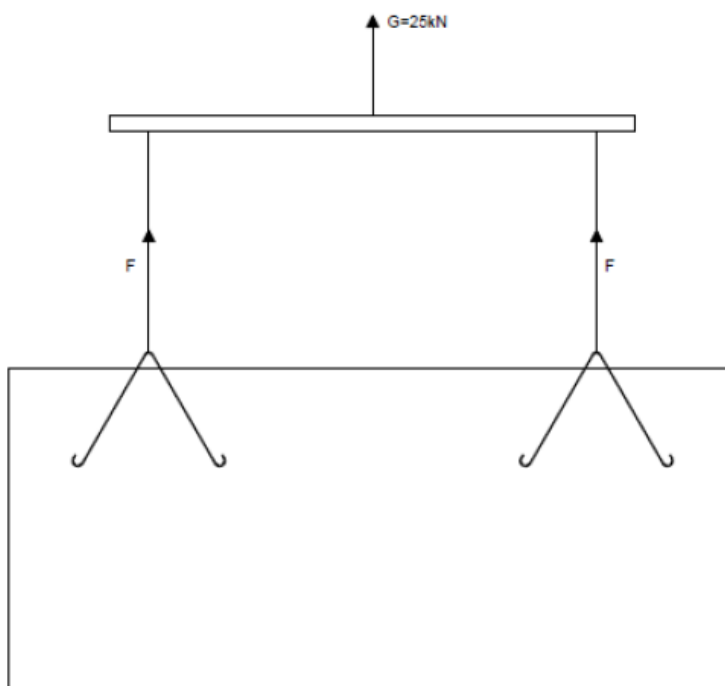
Punosten St1550/1770 tartuntapituudet, kun teräksen jännitys on f_u/γ_s .

| | Betonin lieriölujuus f_{ck} nostohetkellä | | | | | | | | |
|----------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ϕ [mm] | 12 [MPa] | 16 [MPa] | 20 [MPa] | 25 [MPa] | 30 [MPa] | 35 [MPa] | 40 [MPa] | 45 [MPa] | 50 [MPa] |
| 9,3 | 940 | 790 | 690 | 600 | 540 | 490 | 450 | 420 | 400 |
| 12,5 | 1250 | 1040 | 900 | 780 | 700 | 640 | 590 | 550 | 520 |

Non-Commercial Use Only

Pyöröteräsnostolenkin laskentaesimerkki (CEB-FIB Model Code 2010)Pyöröteräsnostolenkin laskentaesimerkki (CEB-FIB Model Code 2010)

Seinäelementti painaa 2,5t (25kN) ja betoniin lieriölujuus nostohetkellä on 30MPa. Nosto tapahtuu tasauspalkin avulla (nostokulma 0 astetta) kahdella pyöröteräslenkilla jotka ovat 30 asteen taivutuskulmassa. Nostolenkeinä käytetään d=12mm, lujuus S235. Elementin paksuus on 80mm



Nostokulma on 0 astetta, joten kyseessä on suoranosto. Lenkin haarat ovat 30 asteen kulmassa suhteessa pystysuoraan.

Non-Commercial Use Only

Tarkistetaan nostolenkin kapasiteetti.

$$N_{Rd,s} := A_s \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 113.097 \text{ mm}^2 \cdot \frac{360 \text{ MPa}}{2.0} = 20.357 \text{ kN}$$

Lasketaan yhteen nostolenkkiin kohdistuvan voiman ylöspäin suuntautuvat komponentit.

$$V_{Rd,vert} := N_{Rd,s} \cdot (\cos(30^\circ) + \cos(30^\circ)) = 20.357 \text{ kN} \cdot (0.866 + 0.866) = 35.258 \text{ kN}$$

Vastaava elementin maksimipaino G_{max}

$$G_{max} := \frac{V_{Rd,vert}}{\gamma_L} \cdot 2 = \frac{35.258 \text{ kN}}{2.05} \cdot 2 = 34.398 \text{ kN}$$

$$G < G_{max} = 25 \text{ kN} < 34.4 \text{ kN} \quad \text{-----} > \text{ Voidaan todeta, että nostolenkkien kapasiteetti on riittävä kyseiselle elementille.}$$

Lasketaan yhden haaran tarvitsemaa tartuntapituuden mitoitusarvoa voimalle F

$$F := \frac{G \cdot \gamma_L}{4} = \frac{25 \text{ kN} \cdot 2.05}{4} = 12.813 \text{ kN}$$

Lasketaan koukun aiheuttama halkaisuvoima ja tarkastetaan betonin murtuminen tasosta ulospäin. Elementin paksuus on 80mm, joten suojabetonin paksuus on 34mm

$$k_{S235} := \min\left(\frac{c}{3.2 \cdot \phi}; 1.0\right) = \min(0.885; 1)$$

Vetovoiman redusoitu mitoitusarvo lasketaan kaavasta

$$N_{Rd, reduced} := k_{S235} \cdot N_{Rd,s} = 0.885 \cdot 20.357 \text{ kN} = 18.016 \text{ kN}$$

$$N_{Rd, reduced} > F \quad \text{-----} > \text{ Suojabetonin paksuus on riittävä}$$

Tartuntapituuden perusarvo f_b

$$f_b := \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \frac{\sqrt{\frac{f_{ck}}{20}}}{y_c} = 0.9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1.2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{30}{20}}}{1.5} = 0.882$$

(ks. kaavojen kertoimien selitykset kappaleesta 6.3 Eurokoodien mukainen mitoitus)

Koukun ottama voima kuormasta

$$F_h := 50 \cdot f_b \cdot A_s = 50 \cdot 0.882 \cdot 113.097 = 4.988 \cdot 10^3$$

Pyörötangossa vallitseva jännitys

$$\sigma_{sd} := \frac{F}{A_s} - \frac{F_h}{A_s} = \frac{12813 \text{ N}}{113.097 \text{ mm}^2} - \frac{4988 \text{ N}}{113.097 \text{ mm}^2} = 69.188 \text{ MPa}$$

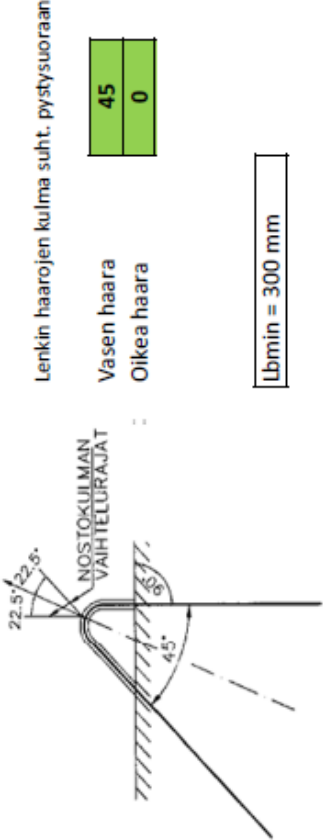
Mitoitus ankkurointipituus l_b lasketaan kaavasta

$$l_b := a_4 \cdot \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_b} = 1 \cdot \frac{12 \text{ mm} \cdot 69.188 \text{ MPa}}{4 \cdot 0.882 \text{ MPa}} = 235.333 \text{ mm}$$

Kun ankkurointipituuteen lisätään 50 asennustoleranssi saadaan lopulliseksi suoran osan tartuntapituudeksi 285mm. Laskennassa on oletettu, että tehdas olosuhteissa pyöröteräksen tartunta olosuhteet ovat hyvät ja kertoimelle n_2 voidaan käyttää arvoa 1 suositus arvon 0.5 sijasta.

Non-Commercial Use Only

Jännepunoslenkkien tartuntapituus taulukko

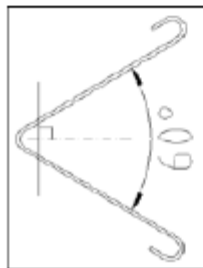
| PUNOSNOSTOLENKIT | | | | | | | | | | | |
|--|------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|
| Punos d 9,3 ja d 12,5 st 1630/1860 / Holkillinen lenkki | | | | | | | | | | | |
| Teräksen lujuus | 1860 | | | | | | | | | | |
| Nostokulma | 0...30 | | | | | | | | | | |
| NL:n taivutuskulma | 0...60 | | | | | | | | | | |
| Haarakulma | 90 | 0...90 | | | | | | | | | |
| Betonin osavarmuusk. | γ_c | 1,5 | | | | | | | | | |
| Punosten osavarmuusk. | γ_s | 1,8 | | | | | | | | | |
| Kuormien osavarmuusk. | γ_L | 2,05 | | | | | | | | | |
| As (d9,3) | 52 | | | | | | | | | | |
| As (d12,5) | 93 | | | | | | | | | | |
| k1 (1punos\vipu) | 0,8 | | | | | | | | | | |
| k1 (>2punos\vipu) | 0,86 | | | | | | | | | | |
| k2 (1punos\vipu) | 1,25 | | | | | | | | | | |
| k2 (2punos\vipu) | 0,9 | | | | | | | | | | |
| k2 (3punos\vipu) | 0,85 | | | | | | | | | | |
| k2 (4punos\vipu) | 0,75 | | | | | | | | | | |
| Gmax (d 9,3) | 63,3 | | | | | | | | | | |
| Gmax (d 12,5) | 113,2 | | | | | | | | | | |
| Gmax (2 d 12,5) | 175,2 | | | | | | | | | | |
| Gmax (3 d 12,5) | 248,2 | | | | | | | | | | |
| Gmax (4 d 12,5) | 292,0 | | | | | | | | | | |
| Punoslenkkien kanssa käytettävä teräsholkkia | | | | | | | | | | | |
| Punosniput erotetaan toisistaan valuun | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |
| b _{min} = 300 mm | | | | | | | | | | | |
| "SUORA NOSTO" | | | | | | | | | | | |
| Ankkurointipituus l _b (mm) sis. 50mm asennustoleranssin | | | | | | | | | | | |
| Betonin lieriölujuus f_{ct} nostohetkellä (Mpa) | | | | | | | | | | | |
| 2 nostol. / elementti | | | | | | | | | | | |
| Tyyppi | NL | | | | | | | | | | |
| KX1 | I+I d 9,3 | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | Elementin paino (kN) |
| KX2 | I+I d 9,3 | 302 | 258 | 229 | 204 | 187 | 173 | 163 | 154 | 147 | 20 |
| KX3 | I+I d 9,3 | 428 | 362 | 319 | 281 | 255 | 235 | 219 | 206 | 196 | 30 |
| KX4 | I+I d 9,3 | 553 | 466 | 408 | 359 | 323 | 297 | 276 | 259 | 244 | 40 |
| KX5 | I+I d 9,3 | 679 | 569 | 498 | 436 | 392 | 358 | 332 | 311 | 293 | 50 |
| KX5 | I+I d 9,3 | 846 | 707 | 617 | 538 | 482 | 440 | 407 | 380 | 358 | 63,28 |
| Nostoapulaite | | | | | | | | | | | |
| yksittäinen, d=50 | | | | | | | | | | | |
| nipu, d>65 | | | | | | | | | | | |

| "SUORA NOSTO" | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|----|
| 2 nostol. / elementti | | Ankkurointipituus lb (mm) sis. 50mm asennustoleranssin | | | | | | | | | | |
| | | Betonin lieriölujuus f_{ctk} nostohetkellä (Mpa) | | | | | | | | | | |
| | | Tyyppi | NL | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| KX1 | 1+1 d 9,3 | 302 | 258 | 229 | 204 | 187 | 173 | 163 | 154 | 147 | 20 | |
| KX2 | 1+1 d 9,3 | 428 | 362 | 319 | 281 | 255 | 235 | 219 | 206 | 103 | 30 | |
| KX3 | 1+1 d 9,3 | 553 | 466 | 408 | 359 | 323 | 297 | 276 | 259 | 137 | 40 | |
| KX4 | 1+1 d 9,3 | 679 | 569 | 498 | 436 | 392 | 358 | 332 | 311 | 172 | 50 | |
| KX5 | 1+1 d 9,3 | 805 | 673 | 587 | 513 | 460 | 420 | 388 | 363 | 206 | 60 | |
| KX6 | 1+1 d 9,3 | 846 | 707 | 617 | 538 | 482 | 440 | 407 | 380 | 217 | 63,28 | |
| K1 | 1+1 d 12,5 | 239 | 206 | 185 | 166 | 153 | 143 | 135 | 128 | 123 | 20 | |
| K2 | 1+1 d 12,5 | 428 | 362 | 319 | 282 | 255 | 235 | 220 | 207 | 196 | 40 | |
| K3 | 1+1 d 12,5 | 618 | 518 | 454 | 398 | 358 | 328 | 304 | 285 | 269 | 60 | |
| K4 | 1+1 d 12,5 | 807 | 675 | 588 | 514 | 461 | 421 | 389 | 364 | 342 | 80 | |
| K5 | 1+1 d 12,5 | 996 | 831 | 723 | 630 | 564 | 513 | 474 | 442 | 415 | 100 | |
| K6 | 1+1 d 12,5 | 1120 | 934 | 812 | 706 | 631 | 574 | 530 | 494 | 463 | 113,17 | |
| KN21 | 2+2 d 12,5 | 286 | 245 | 218 | 195 | 178 | 166 | 156 | 148 | 141 | 50 | |
| KN22 | 2+2 d 12,5 | 405 | 343 | 302 | 267 | 243 | 224 | 209 | 197 | 187 | 75 | |
| KN23 | 2+2 d 12,5 | 523 | 440 | 386 | 340 | 307 | 282 | 262 | 246 | 233 | 100 | |
| KN24 | 2+2 d 12,5 | 641 | 538 | 471 | 412 | 371 | 340 | 315 | 295 | 278 | 125 | |
| KN25 | 2+2 d 12,5 | 759 | 636 | 555 | 485 | 435 | 398 | 368 | 344 | 324 | 150 | |
| KN26 | 2+2 d 12,5 | 878 | 733 | 639 | 557 | 499 | 455 | 421 | 393 | 370 | 175 | |
| KN27 | 2+2 d 12,5 | 879 | 734 | 639 | 558 | 500 | 456 | 421 | 393 | 370 | 175,19 | |

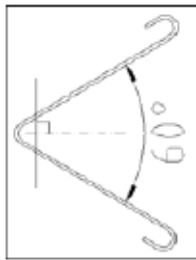
| "SUORA NOSTO" | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|
| 2 nostol / elementti | | Ankkurointipituus lb (mm) sis. 50mm asennustoleranssin | | | | | | | | | |
| | | Betonin lieriölujuus f_{ek} nostohetkellä (Mpa) | | | | | | | | | |
| Tyyppi | NL | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | Elementin paino (kN) |
| KN31 | 3+3 d 12,5 | 286 | 245 | 218 | 195 | 178 | 166 | 156 | 148 | 141 | 75 |
| KN32 | 3+3 d 12,5 | 365 | 310 | 274 | 243 | 221 | 204 | 191 | 181 | 172 | 100 |
| KN33 | 3+3 d 12,5 | 444 | 375 | 330 | 292 | 264 | 243 | 227 | 213 | 202 | 125 |
| KN34 | 3+3 d 12,5 | 523 | 440 | 386 | 340 | 307 | 282 | 262 | 246 | 233 | 150 |
| KN35 | 3+3 d 12,5 | 602 | 505 | 443 | 388 | 350 | 320 | 297 | 279 | 263 | 175 |
| KN36 | 3+3 d 12,5 | 681 | 571 | 499 | 437 | 392 | 359 | 333 | 311 | 294 | 200 |
| KN37 | 3+3 d 12,5 | 759 | 636 | 555 | 485 | 435 | 398 | 368 | 344 | 324 | 225 |
| KN38 | 3+3 d 12,5 | 833 | 696 | 607 | 530 | 475 | 433 | 401 | 374 | 352 | 248,19 |
| KN41 | 4+4 d 12,5 | 346 | 294 | 260 | 231 | 210 | 195 | 182 | 172 | 164 | 125 |
| KN42 | 4+4 d 12,5 | 405 | 343 | 302 | 267 | 243 | 224 | 209 | 197 | 187 | 150 |
| KN43 | 4+4 d 12,5 | 464 | 392 | 344 | 304 | 275 | 253 | 235 | 221 | 210 | 175 |
| KN44 | 4+4 d 12,5 | 523 | 440 | 386 | 340 | 307 | 282 | 262 | 246 | 233 | 200 |
| KN45 | 4+4 d 12,5 | 582 | 489 | 428 | 376 | 339 | 311 | 288 | 270 | 255 | 225 |
| KN46 | 4+4 d 12,5 | 641 | 538 | 471 | 412 | 371 | 340 | 315 | 295 | 278 | 250 |
| KN47 | 4+4 d 12,5 | 700 | 587 | 513 | 449 | 403 | 369 | 341 | 319 | 301 | 275 |
| KN48 | 4+4 d 12,5 | 740 | 620 | 541 | 473 | 425 | 388 | 359 | 336 | 317 | 291,99 |

Pyöröteräslenkkien tartuntapituus taulukko

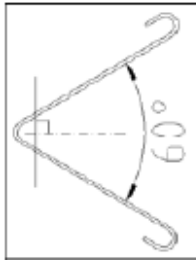
| PYÖRÖTERÄSNOSTOLENKIT (MODEL CODE 2010) | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------|--|-------------------------|--|-------|--|---------|--|
| Teräs S355JO tai AISI304 | | Teräksen lujuus | | γ _c | | d | | As | |
| Nostokulma | | 0...30 | | γ _s 2 | | 10 | | 78,54 | |
| NL:n taivutuskulma | | 0...60 | | γ _L 2,05 | | 12 | | 113,10 | |
| Haarakulma | | 0 | | η ₁ 0,9 | | 16 | | 201,06 | |
| | | | | η ₂ 1 | | 20 | | 314,16 | |
| | | | | η ₃ (d≤20) 1 | | 25 | | 490,87 | |
| Fsall (d 10) / kN | | 20,03 | | η ₄ 1,2 | | 32 | | 804,25 | |
| Fsall (d 12) / kN | | 28,84 | | | | 40 | | 1256,64 | |
| Fsall (d 16) / kN | | 51,27 | | | | | | | |
| Fsall (d 20) / kN | | 80,11 | | fb (d≤20) 0,558 | | 0,644 | | 0,882 | |
| Fsall (d 25) / kN | | 125,17 | | fb (d25) 0,522 | | 0,602 | | 0,825 | |
| Fsall (d 32) / kN | | 205,08 | | fb (d32) 0,484 | | 0,559 | | 0,766 | |
| Fsall (d 40) / kN | | 320,44 | | fb (d40) 0,453 | | 0,523 | | 0,716 | |
| | | | | | | 0,585 | | 0,774 | |
| | | | | | | 0,827 | | 0,827 | |
| | | | | | | 1,018 | | 1,080 | |
| | | | | | | 0,952 | | 0,952 | |
| | | | | | | 0,891 | | 1,010 | |
| | | | | | | 0,827 | | 0,938 | |
| | | | | | | 0,774 | | 0,877 | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |



| "SUORA NOSTO" | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|--|--|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|--|
| 2 nostol./elementti | | | Ankkurointipituus Ib (mm) sis. 50mm asennustoleranssin | | | | | | | | | |
| Tyyppi | NL. | | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | Elementin paino (kN) | |
| N10 | 1+1 d 10 | | 510 | 432 | 378 | 330 | 295 | 268 | 245 | 227 | 20 | |
| | 1+1 d 10 | | 656 | 558 | 491 | 432 | 387 | 353 | 326 | 303 | 25 | |
| | 1+1 d 10 | | 803 | 685 | 605 | 533 | 480 | 439 | 406 | 378 | 30 | |
| | 1+1 d 10 | | 915 | 782 | 692 | 611 | 551 | 505 | 467 | 436 | 33,8 | |
| N12 | 1+1 d 12 | | 509 | 428 | 372 | 322 | 285 | 257 | 234 | 215 | 25 | |
| | 1+1 d 12 | | 631 | 533 | 466 | 407 | 362 | 328 | 301 | 278 | 30 | |
| | 1+1 d 12 | | 753 | 639 | 561 | 491 | 440 | 400 | 367 | 341 | 35 | |
| | 1+1 d 12 | | 875 | 744 | 655 | 576 | 517 | 471 | 434 | 403 | 40 | |
| | 1+1 d 12 | | 997 | 850 | 750 | 660 | 594 | 542 | 501 | 466 | 45 | |
| | 1+1 d 12 | | 1088 | 929 | 820 | 723 | 651 | 596 | 551 | 513 | 48,7 | |
| N16 | 1+1 d 16 | | 673 | 562 | 487 | 420 | 370 | 332 | 301 | 275 | 45 | |
| | 1+1 d 16 | | 764 | 642 | 558 | 483 | 428 | 385 | 351 | 322 | 50 | |
| | 1+1 d 16 | | 947 | 800 | 700 | 610 | 544 | 492 | 451 | 416 | 60 | |
| | 1+1 d 16 | | 1130 | 958 | 841 | 737 | 659 | 599 | 551 | 511 | 70 | |
| | 1+1 d 16 | | 1313 | 1117 | 983 | 863 | 775 | 706 | 651 | 605 | 80 | |
| | 1+1 d 16 | | 1434 | 1222 | 1077 | 947 | 852 | 777 | 718 | 668 | 86,6 | |



| "SUORA NOSTO" | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|--|
| 2 nostol. / elementti | | Ankkurointipituus lb (mm) sis. 50mm asennustoleranssin | | | | | | | | | |
| Tyyppi | NL. | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | Elementin paino (kN) | |
| N20 | 1+1 d 20 | 824 | 687 | 593 | 509 | 447 | 399 | 361 | 329 | 70 | |
| | 1+1 d 20 | 897 | 750 | 650 | 560 | 494 | 442 | 401 | 366 | 75 | |
| | 1+1 d 20 | 970 | 813 | 706 | 611 | 540 | 485 | 441 | 404 | 80 | |
| | 1+1 d 20 | 1116 | 940 | 820 | 712 | 632 | 571 | 521 | 480 | 90 | |
| | 1+1 d 20 | 1263 | 1067 | 933 | 813 | 725 | 656 | 601 | 555 | 100 | |
| | 1+1 d 20 | 1409 | 1193 | 1046 | 915 | 817 | 742 | 681 | 631 | 110 | |
| | 1+1 d 20 | 1555 | 1320 | 1159 | 1016 | 910 | 828 | 761 | 706 | 120 | |
| | 1+1 d 20 | 1701 | 1447 | 1273 | 1117 | 1002 | 913 | 841 | 782 | 130 | |
| | 1+1 d 20 | 1780 | 1515 | 1334 | 1172 | 1052 | 959 | 884 | 822 | 135,4 | |
| | 1+1 d 25 | 1239 | 1038 | 900 | 778 | 687 | 617 | 560 | 513 | 120 | |
| N25 | 1+1 d 25 | 1364 | 1146 | 997 | 864 | 766 | 690 | 628 | 577 | 130 | |
| | 1+1 d 25 | 1489 | 1254 | 1094 | 951 | 845 | 763 | 697 | 642 | 140 | |
| | 1+1 d 25 | 1614 | 1363 | 1191 | 1038 | 924 | 836 | 765 | 707 | 150 | |
| | 1+1 d 25 | 1739 | 1471 | 1288 | 1124 | 1003 | 910 | 834 | 771 | 160 | |
| | 1+1 d 25 | 1927 | 1633 | 1433 | 1254 | 1122 | 1019 | 937 | 868 | 175 | |
| | 1+1 d 25 | 2114 | 1796 | 1579 | 1384 | 1241 | 1129 | 1039 | 965 | 190 | |
| | 1+1 d 25 | 2384 | 2029 | 1787 | 1571 | 1411 | 1287 | 1187 | 1104 | 211,5 | |



| "SUORA NOSTO" | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|--|--|
| 2 nostol. / elementti | | Ankkurointipituus lb (mm) sis. 50mm asennustoleranssin | | | | | | | | | | |
| Tyyppi | NL. | Betonin lieriölujuus f_{ct} nostohetkellä (Mpa) | | | | | | | | | | |
| | | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | Elementin paino (kN) | | |
| N32 | 1+1 d 32 | 1755 | 1473 | 1281 | 1108 | 981 | 883 | 803 | 737 | 200 | | |
| | 1+1 d 32 | 2018 | 1701 | 1484 | 1291 | 1148 | 1037 | 947 | 873 | 225 | | |
| | 1+1 d 32 | 2281 | 1929 | 1688 | 1473 | 1314 | 1191 | 1091 | 1009 | 250 | | |
| | 1+1 d 32 | 2544 | 2157 | 1892 | 1655 | 1481 | 1345 | 1235 | 1145 | 275 | | |
| | 1+1 d 32 | 2807 | 2384 | 2096 | 1838 | 1647 | 1499 | 1379 | 1281 | 300 | | |
| | 1+1 d 32 | 3071 | 2612 | 2300 | 2020 | 1813 | 1653 | 1524 | 1416 | 325 | | |
| | 1+1 d 32 | 3228 | 2749 | 2422 | 2129 | 1913 | 1745 | 1610 | 1498 | 340 | | |
| | 1+1 d 32 | 3297 | 2809 | 2475 | 2177 | 1957 | 1786 | 1648 | 1534 | 346,6 | | |
| N40 | 1+1 d 40 | 2251 | 1889 | 1642 | 1421 | 1258 | 1131 | 1029 | 945 | 300 | | |
| | 1+1 d 40 | 2476 | 2084 | 1816 | 1577 | 1401 | 1263 | 1153 | 1061 | 325 | | |
| | 1+1 d 40 | 2701 | 2279 | 1991 | 1733 | 1543 | 1395 | 1276 | 1177 | 350 | | |
| | 1+1 d 40 | 2926 | 2474 | 2165 | 1889 | 1685 | 1527 | 1399 | 1293 | 375 | | |
| | 1+1 d 40 | 3151 | 2669 | 2339 | 2045 | 1828 | 1659 | 1522 | 1410 | 400 | | |
| | 1+1 d 40 | 3376 | 2864 | 2514 | 2201 | 1970 | 1790 | 1646 | 1526 | 425 | | |
| | 1+1 d 40 | 3601 | 3059 | 2688 | 2357 | 2112 | 1922 | 1769 | 1642 | 450 | | |
| | 1+1 d 40 | 4425 | 3772 | 3326 | 2927 | 2633 | 2404 | 2220 | 2067 | 541,5 | | |